

**T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ**

**ÖSTENİTİK VE MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN
NANOAKIŞKAN KULLANILARAK MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA
YÖNTEMİ İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR FREZELENMESİ**

FURKAN DEMİREN

**YÜKSEK LİSANS TEZİ
MAKİNE MÜHENDİSLİĞİ ANABİLİM DALI
İMAL USULLERİ PROGRAMI**

**DANIŞMAN
PROF. DR. ERHAN ALTAN**

İSTANBUL, 2015

T.C.
YILDIZ TEKNİK ÜNİVERSİTESİ
FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

**ÖSTENİTİK VE MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN
NANOAKIŞKAN KULLANILARAK MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA
YÖNTEMİ İLE SÜRDÜRÜLEBİLİR FREZELENMESİ**

Furkan DEMİREN tarafından hazırlanan tez çalışması 10.07.2015 tarihinde aşağıdaki jüri tarafından Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü Makine Mühendisliği Anabilim Dalı'nda **YÜKSEK LİSANS TEZİ** olarak kabul edilmiştir.

Tez Danışmanı

Prof. Dr. Erhan ALTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi

Eş Danışman

Araş. Gör. Dr. Alper UYSAL
Yıldız Teknik Üniversitesi

Jüri Üyeleri

Prof. Dr. Erhan ALTAN
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Orhan ÇAKIR
Yıldız Teknik Üniversitesi



Doç. Dr. Mustafa BAKKAL
İstanbul Teknik Üniversitesi



Bu alışma, Türkiye Bilimsel ve Teknolojik Araştırma Kurumu (TÜBİTAK) tarafından 114M098 numaralı projesi ile desteklenmiştir.

ÖNSÖZ

Tezimin hazırlanmasında büyük emeği olan, saygıdeğer danışmanım Sayın Prof. Dr. Erhan ALTAN'a yaptığı yardımlardan, verdiği destekten ve gösterdiği derin hoşgörüden dolayı teşekkürlerimi sunarım. Çalışmalarım esnasında her zaman yanımda olan beni yönlendiren, bilgi, öneri ve yardımlarını esirgemeyen Sayın Arş. Gör. Dr. Alper UYSAL'a ve ayrıca bugüne kadar her zaman yanımda olan maddi ve manevi desteklerini hiç esirgemeyen aileme sonsuz teşekkürler.

Temmuz, 2015

Furkan DEMİREN

İÇİNDEKİLER

	Sayfa
SİMGE LİSTESİ	vii
KISALTMA LİSTESİ	viii
ŞEKİL LİSTESİ.....	ix
ÇİZELGE LİSTESİ	xiv
ÖZET.....	xv
ABSTRACT	xvii
BÖLÜM 1	1
GİRİŞ.....	1
1.1 Literatür Özeti	3
1.2 Tezin Amacı	10
1.3 Orijinal Katkı.....	11
BÖLÜM 2	12
TALAŞ KALDIRMA ve FREZELEME.....	12
2.1 Frezeleme.....	12
2.1.1 Çevresel ve Alın Frezeleme.....	13
2.2 Takım Aşınması	14
2.2.1 Takım Aşınmasını Etkileyen Faktörler.....	15
2.2.2 Aşınma Tipleri	15
2.2.2.1 Serbest Yüzey Aşınması.....	16
2.2.2.2 Krater Aşınması	16
2.2.2.3 Plastik Deformasyon	17
2.2.2.4 Çentik Aşınması	17
2.2.2.5 Termal (Isıl) Çatlaklar	18
2.2.2.6 Mekanik Yorulma Çatlakları	18
2.2.2.7 Kırılma	19
2.2.2.8 Yığma Ağız Oluşumu.....	19

2.2.3	Takım Ömrü ve Takım Ömrünü Etkileyen Faktörler	20
2.3	Yüzey Kalitesi	22
2.3.1	Yüzey Pürüzlülüğü.....	22
2.3.2	Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler	23
2.4	Talaş Kaldırmada Isı Oluşumu	23
2.4.1	Talaş Kaldırmada Sıcaklık Dağılımı.....	26
2.4.2	Talaş Kaldırma Bölgesindeki Sıcaklığı Etkileyen Faktörler	27
BÖLÜM 3		29
DENEYSEL ÇALIŞMA		29
3.1	Malzeme	29
3.2	Deneylerde Kullanılan Tezgâh, Cihaz ve Ekipmanlar	30
3.3	Nanoakışkanların Hazırlanması.....	35
3.4	Viskozite Ölçüm Sonuçları.....	36
BÖLÜM 4		37
DENEYSEL SONUÇLAR		37
4.1	Nanoakışkan MQL Yönteminin Takım Aşınmasına Etkileri	39
4.2	Nanoakışkan MQL Yönteminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri.....	53
4.3	Nanoakışkan MQL Yönteminin Kesme Sıcaklığına Etkileri.....	55
4.4	Nanoakışkan MQL Yönteminin Çapaklara Etkisi	56
BÖLÜM 5		59
SONUÇ VE ÖNERİLER		59
KAYNAKLAR.....		66
EK-A		71
TAKIM AŞINMASI GRAFİKLERİ.....		71
ÖZGEÇMİŞ.....		81

SİMGE LİSTESİ

a	Kesme derinliği, mm
C	Deney koşullarına bağlı bir sabit
f	İlerleme, mm/dev
k	Hız üsteli
K	Takım geometrisi ve takım-iş parçası için bir sabit
l	Örnek uzunluk
ln	Ölçüm uzunluğu
n	Parça ve takım malzemesine bağlı sabit
Ra	Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğu değeri
t	Sıcaklık, °C
T	Takım ömrü, dak
V	Kesme hızı, m/dak
x	İlerleme üsteli
y	Kesme derinliği üsteli

KISALTMA LİSTESİ

AC	Alternatif Akım
Ag	Gümüş
AISI	Amerikan Demir ve Çelik Enstitüsü
AlCrN	Alüminyum Krom Nitrür
AlCrNbN	Alüminyum Krom Niyobyum Nitrür
Al ₂ O ₃	Alüminyum Oksit
AlSi ₅	Alüminyum Silisyum
AlTiN	Alüminyum Titanyum Nitrür
ANSI	Amerikan Ulusal Standart Enstitüsü
ASSAB	Associated Swedish Steels AB
CNC	Bilgisayarlı Sayısal Kontrol
CrN	Krom Nitrür
CuO	Bakır(II) Oksit
CVD	Kimyasal Buhar Biriktirme
DC	Doğru Akım
HRC	Rockwell Sertliği
HSS	Yüksek Hız Çeliği
HSS-Co	Yüksek Hız Çeliği-Kobalt
ISO	Uluslararası Standart Organizasyonu
LCD	Sıvı Kristal Ekran
MoS ₂	Molibdendisülfür
MQL	Minimum Miktarla Yağlama
MWCNT	Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp
NbN	Niyobyum Nitrür
PVD	Fiziksel Buhar Biriktirme
PCBN	Çok Kristalli Bor Nitrür
SDS	Sodyum Dodesil Sülfat
SEM	Taramalı Elektron Mikroskobu
SiO ₂	Silikon dioksit
TaN	Tantal Nitrür
TiAlN	Titanyum Alüminyum Nitrür
TiCN	Titanyum Karbonitrür
TiN	Titanyum Nitrür
WC	Tungsten Karbür

ŞEKİL LİSTESİ

	Sayfa
Şekil 2.1	Çevresel zıt yönlü frezeleme ile talaş kaldırma işlemi [39]..... 13
Şekil 2.2	Takım aşınmasının zamana göre değişimi [42] 15
Şekil 2.3	Kesici takımında serbest yüzey aşınması [38]..... 16
Şekil 2.4	Kesici takımında krater aşınması [38] 16
Şekil 2.5	Kesici takımında plastik deformasyon [38] 17
Şekil 2.6	Kesici takımında çentik aşınması [38] 17
Şekil 2.7	Kesici takımında termal çatlaklar [38] 18
Şekil 2.8	Kesici takımında mekanik yorulma çatlakları [38] 18
Şekil 2.9	Kesici takımında kırılma [38] 19
Şekil 2.10	Kesici Takımda yığılma ağız [38] 20
Şekil 2.11	İşlenmiş yüzeyde yüzey pürüzlülüğü ve dalgalanma [46] 22
Şekil 2.12	Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi [47] 23
Şekil 2.13	Dik (Ortogonal) kesmede ısı oluşumu [49] 24
Şekil 2.14	Metal işlemede ısı dağılımı [1] 26
Şekil 2.15	Dik kesme sırasında talaş ve iş parçası arasındaki sıcaklık dağılımına bir örnek [51]..... 27
Şekil 2.16	Sıcaklığın kesme hızı (V) ve ilerleme (f) ye bağlı olarak değişmesi [52] 28
Şekil 3.1	Kullanılan takım tutucu ve SPHN 120404 kesici uçlar..... 29
Şekil 3.2	CNC işleme merkezi 31
Şekil 3.3	Deneylerde kullanılan MQL sistemi 31
Şekil 3.4	Deneylerde kullanılan temassız sıcaklık ölçüm sistemi..... 32
Şekil 3.5	Deneylerde kullanılan trinoküler metal mikroskop 33
Şekil 3.6	Deneylerde kullanılan stereo mikroskop 34
Şekil 3.7	Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülük cihazı 34
Şekil 3.8	Deneylerde kullanılan a) hassas terazi, b) etüv, c) dijital homojenizatör 35
Şekil 4.1	MQL sisteminde kullanılan nozüllerin ve temassız sıcaklık ölçüm cihazının konumları 38
Şekil 4.2	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin MQL yöntemi ile frezelenmesinde serbest yüzey aşınması a) WC, b) WC+TiN 40
Şekil 4.3	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin MQL yöntemi ile frezelenmesinde serbest yüzey aşınması a) WC, b) WC+TiN..... 41
Şekil 4.4	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. MQL yöntemi ile frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a)

	WC, b) WC+TiN, c) WC ve 20 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, e) WC ve 40 ml/saat MQL, f) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL	42
Şekil 4.5	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. MQL yöntemi ile frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) WC, b) WC+TiN, c) WC ve 20 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, e) WC ve 40 ml/saat MQL, f) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL	42
Şekil 4.6	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	43
Şekil 4.7	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	44
Şekil 4.8	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC+TiN kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,5 nano grafen, c) %1 nano grafen, d) %2 nano grafen	44
Şekil 4.9	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC+TiN kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,5 nano grafen, c) %1 nano grafen, d) %2 nano grafen	45
Şekil 4.10	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	46
Şekil 4.11	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	46
Şekil 4.12	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,1 MWCNT, c) %0,15 MWCNT, d) %0,2 MWCNT	47
Şekil 4.13	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,1 MWCNT, c) %0,15 MWCNT, d) %0,2 MWCNT	47
Şekil 4.14	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MoS ₂ katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	48
Şekil 4.15	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MoS ₂ katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	48
Şekil 4.16	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC+TiN kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano MoS ₂ katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,5 nano MoS ₂ , c) %1 nano MoS ₂ , d) %2 nano MoS ₂	49

Şekil 4.17	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano MoS ₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,5 nano MoS ₂ , c) %1 nano MoS ₂ , d) %2 nano MoS ₂ .	49
Şekil 4.18	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile nanoakışkan kullanılarak 20 ml/saat MQL akış hızında frezelenmesinde serbest yüzey aşınmasının nano parçacık türüne göre değişimi, a) %1 nano grafen, b) %0,15 MWCNT, c) %1 nano MoS ₂	51
Şekil 4.19	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC+TiN kesici takım ile nanoakışkan kullanılarak 40 ml/saat MQL akış hızında frezelenmesinde serbest yüzey aşınmasının nano parçacık türüne göre değişimi, a) %2 nano grafen, b) %0,2 MWCNT, c) %2 nano MoS ₂	51
Şekil 4.20	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile nanoakışkan kullanılarak 40 ml/saat MQL akış hızında frezelenmesinde serbest yüzey aşınmasının nano parçacık türüne göre değişimi, a) %1 nano grafen, b) %0,15 MWCNT, c) %1 nano MoS ₂	52
Şekil 4.21	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC+TiN kesici takım ile nanoakışkan kullanılarak 20 ml/saat MQL akış hızında frezelenmesinde serbest yüzey aşınmasının nano parçacık türüne göre değişimi, a) %0,5 nano grafen, b) %0,1 MWCNT, c) %0,5 nano MoS ₂	52
Şekil 4.22	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, a) WC ve 20 ml/saat MQL, b) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, c) WC ve 40 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL	53
Şekil 4.23	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, a) WC ve 20 ml/saat MQL, b) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, c) WC ve 40 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL	53
Şekil 4.24	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminin kesme sıcaklığına etkisi, a) WC ve 20 ml/saat MQL, b) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, c) WC ve 40 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL.....	55
Şekil 4.25	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminin kesme sıcaklığına etkisi, a) WC ve 20 ml/saat MQL, b) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, c) WC ve 40 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL.....	56
Şekil 4.26	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde çapak oluşumunun MQL yöntemi kullanılmasıyla değişimi, a) WC ve kuru, b) WC+TiN ve kuru, c) WC ve 20 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, e) WC ve 40 ml/saat MQL, f) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL	57
Şekil 4.27	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin nanoakışkan MQL yöntemi ile 40 ml/saat MQL akış hızında WC kesici takım kullanılarak frezelenmesinde nano parçacık türünün çapak oluşumuna etkisi, a) kuru, b) MQL, c) %1 nano MoS ₂ , d) %1 nano grafen, e) %0,15 MWCNT	57
Şekil 4.28	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin nanoakışkan MQL yöntemi ile 20 ml/saat MQL akış hızında WC+ TiN kesici takım kullanılarak	

	frezelenmesinde nano parçacık oranının çapak oluşumuna etkisi, a) %0,5 nano MoS ₂ , b) %2 nano MoS ₂ , c) %0,5 nano grafen, d) %2 nano grafen, e) %0,1 MWCNT, f) %0,2 MWCNT	58
Şekil A.1	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	71
Şekil A.2	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	72
Şekil A.3	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	72
Şekil A.4	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	73
Şekil A.5	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	73
Şekil A.6	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	74
Şekil A.7	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	74
Şekil A.8	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	75
Şekil A.9	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	75
Şekil A.10	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	76
Şekil A.11	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	76
Şekil A.12	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	77
Şekil A.13	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MoS ₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	77
Şekil A.14	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MoS ₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	78

Şekil A.15	AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MoS ₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	78
Şekil A.16	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MoS ₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	79
Şekil A.17	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MoS ₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	79
Şekil A.18	AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MoS ₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması	80

ÇİZELGE LİSTESİ

	Sayfa
Çizelge 3.1	Mikro yağlama sisteminin özellikleri..... 32
Çizelge 3.2	Temassız sıcaklık ölçüm cihazının özellikleri 33
Çizelge 3.3	Saf bitkisel kesme sıvısı ve hazırlanan nanoakışkanların oda sıcaklığında ölçülen viskozite değerleri..... 36
Çizelge 4.1	Frezeleme parametreleri..... 37

**ÖSTENİTİK VE MARTENZİTİK PASLANMAZ ÇELİKLERİN NANOAKIŞKAN
KULLANILARAK MİNİMUM MİKTARDA YAĞLAMA YÖNTEMİ İLE
SÜRDÜRÜLEBİLİR FREZELENMESİ**

Furkan DEMİREN

Makine Mühendisliği Anabilim Dalı

Yüksek Lisans Tezi

Tez Danışmanı: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Eş Danışman: Dr. Alper UYSAL

Paslanmaz çelik malzemeler talaş kaldırma sırasında sahip oldukları pekleşme eğilimlerinden, düşük ısı iletkenliklerinden, yüksek dayanımlarından ötürü talaşlı şekillendirilmesi zor malzemelerdir. Bu malzemelerin çeşitli kesme sıvıları kullanılarak işlenebilmesi mümkündür, fakat kesme sıvılarının çevre ve sağlık açısından zararlı olması ve bol miktarda kullanılmaları durumunda yüksek maliyet gibi dezavantajları bulunmaktadır. Bu çalışmada talaşlı şekillendirilebilmesi zor olan östenitik ve martenzitik paslanmaz çelik malzemeler, ticari bitkisel kesme sıvısına nano parçacık karıştırılarak elde edilen nanoakışkanın MQL yöntemi uygulanarak çevreye zarar vermeden frezelenmiştir. Literatürde, paslanmaz çelik malzemelerin MQL yöntemi kullanılarak talaşlı şekillendirilmesi konusunda çok az çalışma bulunmaktadır. Ayrıca, nano parçacık katkılı kesme sıvısı (nanoakışkan) kullanılan MQL yöntemi uygulamasına da rastlanılmamaktadır.

Bu çalışmada, kesme sıvısı olarak kullanılan ticari bitkisel yağa ilaveten, soğutma ve yağlama özelliklerini arttırabilmek amacıyla farklı oranda nano grafen, MWCNT (Çok Duvarlı Karbon Nano Tüp) ve nano MoS₂ (Molibdendisülfür) parçacıkları katılmıştır. Östenitik ve martenzitik paslanmaz çelik malzemeler, CNC işleme merkezinde kaplamasız ve TiN (Titanium Nitrür) kaplamalı WC (Tungsten Karbür) kesici takımlarla MQL yöntemi uygulanarak frezelenmiştir. Elde edilen sonuçların karşılaştırılabilmesi

amacıyla frezeleme işlemleri, kuru işleme olarak da tekrarlanmıştır. Farklı akış hızlarıyla kullanılan, nano parçacık tiplerinin ve karışım oranlarının, frezelemede; takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü, kesme sıcaklığı ve çapak formuna etkileri incelenmiştir.

Deneysel çalışmalar sonucunda, MQL akış hızının ve nano parçacık katkı oranlarının frezelemeye olumlu katkıda bulunduğu gözlemlenmiştir. Sadece MWCNT parçacık katkı oranının %0,15'den %0,2'ye artırılması, artan viskozite değeri ve çökeltme eğilimi göstermesi nedeniyle MQL verimini düşürmüştür. Nano parçacık bazında nano grafenin en iyi sonuçları verdiği gözlemlenmiştir. Serbest yüzey aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme sıcaklığını azaltan TiN kaplamalı takımlar, az ve kısa çapak oluşumu vererek kaplamasız takımlardan daha üstün performans göstermişlerdir.

Anahtar Kelimeler: Paslanmaz çelik, MQL, nanoakışkan, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü

**SUSTAINABLE MILLING OF AUSTENITIC AND MARTENSITIC STAINLESS
STEELS BY MINIMUM QUANTITY LUBRICATION METHOD USING
NANOFLUIDS**

Furkan DEMİREN

Department of Mechanical Engineering

MSc. Thesis

Adviser: Prof. Dr. Erhan ALTAN

Co-Adviser: Dr. Alper UYSAL

Stainless steel materials are the materials that are hard to machine due to high strength, low thermal conductivity and work hardening tendency during machining. It is possible that these materials can be machined by using various cutting fluids, but cutting fluids have disadvantages such as being harmful to the environment, health and high cost because of excessive use of these using copiously. In this study, austenitic and martensitic stainless steel materials that are hard to machine, were machined without being harmful to the environment by applying MQL method using nanofluids obtained from mixing commercial vegetable cutting fluid and nano powder. In literature, there are a few studies about machining of stainless steel materials by using MQL method. In addition, there is not an application of MQL method using cutting fluid reinforced nano powder (nanofluids).

In this study, nano powders such as the nano graphene, MWCNT (Multi-Walled Carbon Nano Tube) and nano MoS₂ (Molybdenum Disulphide) were added to the commercial vegetable oil used as cutting fluid to be able to enhance the chilling and lubrication specifications. Austenitic and martensitic stainless steel materials were machined with uncoated and TiN (Titanium Nitride) coated WC (Tungsten Carbide) cutting tools in CNC milling center by applied MQL method using nanofluids. Milling operations were repeated even under dry condition to compare the results obtained from the MQL

methods. The effects of the nano powders and the mixing ratios, which were used in different flow rates, on tool wear, surface roughness, cutting temperature, and burr formation were investigated.

As a result of experimental studies, it was observed that MQL flow rate and nano powder mixing ratio contributed positively to milling operation. However, increasing of MWCNT mixing ratio from 0,15%wt. to 0,2%wt. decreased the efficiency of MQL method because of the increasing of viscosity and the tendency of precipitation. When evaluating the nano powders, it was observed that nano graphene was given the best results. TiN coated WC cutting tool decreasing flank wear, surface roughness, and cutting temperature, provided superior performance than uncoated WC cutting tool. Besides, less and shorter burrs were obtained by using TiN coated WC cutting tool.

Keywords: Stainless steel, MQL, nanofluids, tool wear, surface roughness

GİRİŞ

Günümüzde paslanmaz çelik malzemeler birçok alanda kullanılmakta ve kullanım alanları da giderek artmaktadır. Paslanmaz çelik malzemeler, atmosferik koşullar dahil tüm korozif ortamlarda mekanik özelliklerini yitirmeden yüksek korozyon direncine sahiptirler. Korozyon ve oksidasyona karşı mukavemeti arttıran paslanmaz çelik malzemelerin içeriğindeki Cr (Krom) elementidir. Paslanmaz çeliklerin paslanmazlık özelliklerine sahip olabilmeleri için bileşimlerinde en az %12 Cr bulunması gerekir. Cr miktarını artırılması, yüksek sıcaklıklarda oksidasyon direncinin artmasını sağlar. Birçok paslanmaz çelik önemli oranlarda diğer alaşım elementleri de içerir. Burada amaç yapıyı değiştirmek, çeliğin mukavemetini arttırmak, korozyon direncini ve diğer özellikleri iyileştirmektir.

Paslanmaz çelik malzemeler, özellikleri ve bileşimleri açısından ferritik, martenzitik, östenitik, dupleks (ferritik-östenitik) ve çökelme sertleşmesi uygulanabilen paslanmaz çelikler olarak beş ana gruba ayrılır. Çalışmada martenzitik ve östenitik paslanmaz çelik kullandığımız için daha çok bu tipler hakkında bilgi verilecektir.

Martenzitik paslanmaz çelik malzemeler için en iyi işlenebilirlik %13 Cr ve düşük karbonlu tiplerde söz konusudur. Krom ve karbon yüzdesinin artması işlenebilirliği azaltır. Yüksek karbonlu tiplerinde (%0,8-1,0 C) karbür oluşumu nedeniyle son derece aşındırıcı olmaktadır. En yaygın kullanılan tip düşük krom ve düşük karbonlu tipleridir. Östenitik paslanmaz çelik malzemeler yüksek pekleşme eğilimleri ve düşük ısı iletkenlik katsayılarına sahiptirler. İşlenmeleri genellikle diğer alaşımli çeliklere göre zordur. İşlenmeleri esnasında kesici kenara yapışarak sıvanma eğilimi gösterirler ve takımın kırılmasına sebep olabilirler. Östenit kendi başına yüksek bir pekleşme hızına sahiptir.

Pekleşme etkisinin çok yüksek olması halinde iş parçasının işlenmiş yüzeylerinde çok yüksek sertliğe sahip bölgeler oluşur. Çeliklerin soğuk işlenmesi belirli bir miktar pekleşmeye neden olur. Ferritik ve martenzitik çeliklerde bu miktar en fazla alaşımsız çeliklerdeki kadardır, östenitik çeliklerde ise pekleşme miktarı çok daha fazla olabilir. Östenitik çeliklerin işlenmesinde genellikle yığılma aşınması, kötü yüzey kalitesi ve çapak oluşumu problemleri ile karşılaşılabilir. Östenitik çeliklerin işlenmesinde alaşımsız çeliklere göre en büyük farklılık östenitik çeliklerin ısı iletkenliğinin adi karbon çeliklerinden daha düşük olmasıdır. Adi karbon çelikleri işlenirken ısının önemli bir kısmı talaşla ortamdaki uzaklaştırılır. Östenitik çeliklerin düşük ısı iletkenliği ve düşük ısı emme kapasitesi yüksek kesme sıcaklıklarının ortaya çıkmasına neden olmaktadır. Bu nedenle yeterli soğutmanın sağlanması gerekir. Alaşım elementlerinin miktarı arttıkça östenitik paslanmaz çeliğin kızıl sertliği de artar [1].

Malzemenin işlenebilirliği işlemin verimliliğini belirleyen bir özelliktir. Ancak işlenebilirlik farklı işleme koşulları ve üretim tiplerine göre farklı anlamlar içerebilir; değişik ürünler, tezgahlar, işlemler, kesme parametreleri, takımlar ve kesme sıvıları gibi. Günümüzde WC kesici takımlarla düşük ve yüksek kesme hızlarında, düşük bir takım aşınması, iyi bir talaş oluşumu ve iyi yüzey kalitesini sağlayacak koşulların belirlenmesi son derece önemlidir. Paslanmaz çeliklerin işlenebilirliği farklılıklar gösterebilir. Bunun nedeni paslanmaz çelikler için işlenebilirlik kadar korozyon direnci ve çekme mukavemeti gibi bazı özelliklerinde önemli olmasıdır. Bu özellikler bazen işlenebilirlikle çelişebilir. Örneğin çeliklerin işlenebilirliği kükürt katkısı ile iyileşebilir, ancak bu işlem sonucunda otomat çeliklerin korozyon dirençleri düşer. Bu nedenle işlenebilirliği iyileştirilmesi için izlenecek yolda dikkatli olunması gerekmektedir [1].

Paslanmaz çeliklerin tüm bu olumsuzluklara rağmen talaşlı şekillendirme ile kullanımı devam etmektedir. Paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı şekillendirmesinde işlenebilirliğinin artırılması amacıyla kesme sıvısı ve çeşitli kaplamalı takımlar kullanılmaktadır. Ancak kullanılan kesme sıvıları ve içerisindeki çeşitli katkıların çevre ile insan sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir. Günümüzde bu olumsuzlukları en aza indirmek için geri dönüşümü sağlanabilen, çevre ve insan sağlığına daha az zararlı bitkisel kesme sıvısının kullanımına yönelik çalışmalarda yapılmaktadır. Fakat bitkisel

kesme sıvılarının bol miktarda kullanılması ve bazı durumlarda istenilen işleme kalitesini sağlayamaması gibi olumsuzluklarla karşılaşmaktadır.

Tüm bu olumsuzlukların en aza indirilmesi ve sürdürülebilir imalat (işleme) için paslanmaz çeliklerin MQL (minimum miktarda yağlama) yöntemi ile şekillendirilmesine gündeme gelmekte ancak bu konuda çok fazla çalışma olmamakla birlikte, yöntemin yüksek sıcaklıklarda avantajını kaybettiği de bilinmektedir.

Sürdürülebilirlikte amaç insan sağlığını ve çevreyi koruyarak doğal kaynakların rasyonel kullanılmasıyla kaynak kullanımının azaltılıp standartları yükseltip sürdürülebilir kılmasıdır. Bu amaçla bitkisel kesme sıvısına çeşitli nano parçacıklar katılarak ısı iletkenliğini ve yağlayıcılık özelliklerinin arttırıldığı nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi de kullanılmaktadır. Ayrıca sürdürülebilir işlem olarak sıvı nitrojenin kullanıldığı kriyojenik soğutma ile işleme yöntemi de bulunmaktadır.

Bu çalışmada; AISI 304 östenitik ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzemeler kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımlarla nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi uygulanarak frezelenmiştir.

1.1 Literatür Özeti

Günümüze kadar paslanmaz çelik malzemelerin frezelenmesi konusunda çeşitli çalışmalar gerçekleştirilmiş ve gerçekleştirilmeye devam etmektedir.

Selinder vd. [2] AISI 303 paslanmaz çelik malzemenin yüzey frezelenmesinde kaplamalı WC (Tungsten Karbür) kesici takım malzemelerinin performanslarını araştırmışlardır. Yapılan çalışmada, kullanılan WC takımlar PVD (Fiziksel Buhar Biriktirme) ve CVD (Kimyasal Buhar Biriktirme) yöntemleri kullanılarak tek ve çok katmanlı olacak şekilde TiN/TaN (Titanyum Nitrür/Tantal Nitrür), TiN/NbN (Titanyum Nitrür/Niyobyum Nitrür), TiCN (Titanyum Karbonitrür), TiCN/Al₂O₃/TiN (Titanyum Karbonitrür/Alüminyum Oksit/Titanyum Nitrür) ve TiAlN (Titanyum Alüminyum Nitrür) kaplamalar ile kaplanmış, yapılan frezeleme deneyleri sonucunda PVD TiN/TaN ve PVD TiN/NbN takımların diğerlerine göre daha yüksek takım ömrü verdiğini görmüşlerdir.

Nordin vd. [3] östenitik paslanmaz çelik malzemelerin frezelenmesinde çok katmanlı PVD TiN/TaN kaplama, TiN ve TaN tek katmanlı kaplamaların performanslarını takım

aşınması ve kopmalarını inceleyerek ortaya koymuşlardır. Bu çalışmada, WC takım kullanılmış, AISI 316 östenitik paslanmaz çeliğin yüzeyi frezelenmiştir. Deneyler sonucunda, kesici takımın serbest ve talaş yüzeylerinde, adhezyon aşınması, abrasiv aşınma, çentik aşınması, mekanik çatlaklar, plastik deformasyon ve krater aşınma mekanizmaları gibi çeşitli aşınma mekanizmalarının etkin olduğu gözlenmiştir. Çok katmanlı kaplamalar tek katlı kaplamalardan daha yüksek takım ömrü performansı vermiştir. Ayrıca, TiN kaplamanın TaN kaplamadan daha yüksek takım ömrü verdiği de görülmüştür.

Liew vd. [4] PCBN (Çok Kristalli Bor Nitrür) takım kullanarak sertleştirilmiş AISI 420 paslanmaz çelik malzemeyi işlemişlerdir. Deneyler sonucunda, kesici takım malzemesinin iç yapısındaki gözeneklerin, malzemenin sünekliğinin ve bağlayıcıların mukavemetinin malzemenin kırılma dayanımı üzerinde önemli etkileri olduğunu belirtmişlerdir.

Endrino vd. [5] AISI 316 paslanmaz çelik malzemenin WC parmak frezeyle talaşlı işlenmesinde PVD yöntemiyle kaplanmış AlCrN (Alüminyum Krom Nitrür), AlCrNbN (Alüminyum Krom Niyobyum Nitrür), ince taneli AlTiN (Alüminyum Titanyum Nitrür) ve nano yapıları AlTiN kesici takımlarda oluşan takım aşınmalarını araştırmışlardır. Minimum takım aşınma değerinin nano yapıları AlTiN kaplamalı takımda olduğunu, nano yapıları AlTiN kaplamalı takımın ince taneli AlTiN kaplamalı takıma göre hemen hemen iki kat takım ömrüne sahip olduğunu görmüşlerdir.

Kumar vd. [6], [7] alümina seramik malzemeli kesici takım kullanarak martenzitik paslanmaz çelik malzemeleri talaşlı işlemiş, takım üzerindeki serbest yüzey, krater ve çentik aşınmalarını incelemişlerdir. Serbest yüzey aşınmasının takım ömrünü düşük hızlarda etkilediğini, krater ve çentik aşınmalarının ise takım ömrünü yüksek hızlarda etkilediğini ortaya koymuşlardır.

Shao vd. [8] paslanmaz çelik malzemelerin TiCN/TiN çok katlı kaplamalı takımlarla frezelenmesinde işlem parametrelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlar, küçük talaş açısının takım ömrünü arttırdığını belirtmişlerdir.

Liew ve Ding [9] STAVAX (ısıtılmış AISI 420 paslanmaz çelik) paslanmaz çelik malzemelerin, kaplamasız ve PVD kaplamalı karbür takımlarla frezelenmesini

incelemişlerdir. İş parçası sertliğinin arttırılmasının serbest yüzey aşınmasını arttırdığını ve kaplamalı takımların daha az yüzey pürüzlülüğü ve daha yüksek aşınma direnci sağladıklarını ortaya koymuşlardır.

Liew [10] 2 farklı STAVAX (40 ve 55 HRC) paslanmaz çelik malzemenin düşük hızlarda akışkan kesme sıvısı ve MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesinde, kaplamasız, PVD ile TiAlN tek katman kaplamalı ve PVD ile TiAlN/AlCrN nano çok katman kaplamalı karbür takımlar kullanmıştır. Malzeme sertliğinin azalması ile serbest yüzey aşınmasının azaldığını ve MQL yönteminin akışkan kesme sıvısı kullanımına göre serbest yüzey aşınmasını azaltmada daha etkili olduğunu belirtmiştir. Küçük takım aşınması ve iyi yüzey kalitesinin nano kaplamalı TiAlN/AlCrN takımlarla elde edildiğini belirtmiştir.

Nalbant ve Yıldız [11], AISI 304 paslanmaz çelik malzemelerin frezelenmesinde, kriyojenik soğutmanın kesme kuvvetleri üzerine etkilerini incelemişlerdir. Kriyojenik soğutma ve kuru işleme karşılaştırıldığında, maksimum kesme kuvvetleri kriyojenik soğutma kullanıldığında elde edilmiştir.

Biermann vd. [12] X5CrNi18-10 (AISI 304) paslanmaz çelik malzemelerin mikro frezelenmesinde farklı kaplama malzemelerinin takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkilerini araştırmışlardır. Kaplama malzemesi olarak; CrN (Krom Nitrid), TiN, AlCrN, AlTiN ve TiAlN kullanılmıştır. TiAlN ve AlCrN kaplamalar, en az takım aşınması, AlTiN kaplama en az yüzey pürüzlülüğü vermişlerdir.

Selvaraj vd. [13] kaplamalı karbür takımlarla paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesinde talaş kaldırma parametrelerinin yüzey pürüzlülüğü, kesme kuvvetleri ve takım aşınması üzerine etkilerini incelemişlerdir. En küçük yüzey pürüzlülüğü, 100 m/dak kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme değerlerinde elde edilirken, en az kesme kuvveti, 120 m/dak kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerleme değerlerinde ölçülmüştür. Takım aşınmasının, 80 m/dak kesme hızı ve 0,04 mm/dev ilerlemede minimum olduğu belirtilmiştir. İlerlemenin, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri üzerinde, kesme hızının da takım aşınması üzerinde daha etkin parametreler olduğunu belirtmişlerdir.

Paslanmaz çelik malzemelerin çeşitli kaplamalı takımlarla işlenebilirliği arttırılmaya çalışılmaktadır. Ayrıca paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde, kesme sıvısı kullanımının etkilerinin araştırıldığı çalışmalar da gerçekleştirilmiştir.

Routio ve Säynätjoki [14] paslanmaz çelik malzemenin matkaplanmasında TiN kaplamalı ve kaplamasız HSS (Yüksek Hız Çeliği) takımlar ile mineral, yarı sentetik ve bitkisel yağları kullanarak bir çalışma gerçekleştirmişlerdir. Kesme hızının artmasıyla takım ömrünün azaldığını ve en iyi takım ömrünün bitkisel yağ kullanıldığında elde edildiği görülmüştür.

Belluco ve Chiffre [15] AISI 316L paslanmaz çeliğin talaşlı işlenmesinde, bitkisel esaslı kesme yağlarının raybalama ve kılavuz çekmede yüzey pürüzlülüğü ve parça bütünlüğü üzerindeki etkilerini araştırmışlardır. Ayrıca malzemenin mikro yapısını analiz etmişlerdir. Bu çalışmada kullanılan bitkisel esaslı yağlar mineral yağlardan daha iyi performans göstermişlerdir.

Belluco ve Chiffre [16] HSS-Co (Yüksek Hız Çeliği-Kobalt) matkap ucu ile AISI 316L östenitik paslanmaz çelik malzemenin matkaplanmasında, mineral ve bitkisel yağ kullanarak takım aşınması, kesme kuvvetleri ve talaş formunu incelemişlerdir. Bitkisel esaslı kesme sıvılarının mineral esaslı yağa göre daha yüksek performans gösterdiğini belirlemişlerdir.

Xavior ve Adithan [17] AISI 304 paslanmaz çelik malzemelerin WC kesici takım ile tornalanması esnasında kesme sıvılarının takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğüne etkisini belirlemek için bir deneysel çalışma yaparak, hindistan cevizi yağını, emülsiyon ve katkısız kesme sıvılarının performansları ile karşılaştırmışlardır. Hindistan cevizi yağı, takım aşınmasını azaltmada ve yüzey kalitesini iyileştirmede diğer kesme sıvılarından daha iyi sonuçlar vermiştir.

Cetin vd. [18] AISI 304L östenitik paslanmaz çeliğin tornalayarak bitkisel kesme sıvılarının, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü üzerine etkilerini incelemişlerdir. Ayçiçek yağı ve kanola yağı esaslı kesme sıvılarının ticari kesme sıvılarına göre daha iyi sonuç verdiklerini görmüşlerdir.

Kesme sıvısı kullanımı paslanmaz çeliklerin işlenebilirliğini artırmaktadır. Ancak malzemelerin talaşlı şekillendirilmesinde görülen yüksek takım aşınması ve deformasyonu, kötü iş parçası yüzey kalitesi ve yüksek kesme kuvvetleri gibi etkilerden kaçınmak ve çevreye duyarlı talaşlı şekillendirilebilmesini sağlamak amacıyla MQL yönteminin uygulandığı çalışmalar da yapılmıştır.

Braga vd. [19] alüminyum-silisyum alaşımının delinmesinde kaplamasız ve kaplamalı karbür matkap takımları kullanarak akışkan kesme sıvısı ile MQL yöntemini karşılaştırmışlardır. MQL yöntemi ile yapılan delme işlemlerinde akışkan kesme sıvısına göre daha iyi yüzey kalitesi elde edilmiştir.

Rahman vd. [20] ASSAB 718 HH çeliğinin kaplamasız karbür uçla frezelenmesinde kuru, akışkan kesme sıvısı ve MQL yöntemlerinin takım aşınması, çapak yüksekliği, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğüne olan etkilerini araştırmışlardır. MQL yönteminin kullanılması durumunda, takım aşınması, çapak yükseklikleri ve talaş yapışması daha az oluşmuştur. MQL yöntemi, diğer yöntemlere göre kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü yönünden daha iyi sonuçlar vermiştir.

Kishawy vd. [21] A356 alüminyum alaşımının yüksek hızlı frezelenmesinde MQL yöntemi kullanılarak elde edilen takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve kesme kuvvetleri değerlerini, kuru ve akışkan kesme sıvısı kullanılarak elde edilen değerler ile karşılaştırmışlar, MQL yönteminin akışkan kesme sıvısına göre daha üstün performans gösterdiğini gözlemlemişlerdir.

Khan ve Dhar [22] AISI 1060 çeliğinin bitkisel esaslı kesme sıvısı kullanılarak kaplamasız karbür takım ile kuru ve MQL yöntemiyle tornalanması sonucu oluşan kesme sıcaklığı, kesme kuvvetleri, takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü ve boyutsal sapma üzerindeki etkilerini araştırmışlar, MQL yöntemi ile işlemenin kesme performansı açısından kuru işlemeden daha iyi olduğunu gözlemlemişlerdir.

Itoigawa vd. [23] AISi₅ alaşımının kesikli tornalanmasında su katkılı MQL ve su katkısız MQL yöntemlerinin arasındaki farkı talaş yüzeyindeki film tabakası davranışını açıklamak için incelemişlerdir. Su katkılı MQL yöntemi, sentetik ester benzeri uygun bir yağlayıcı kullanıldığında iyi bir yağlayıcı performans göstermektedir. Su katkısız sentetik esterli MQL yöntemi yağlayıcı etki göstermektedir ancak takım hasarı ve takım yüzeyinde malzeme birikimini önleyememektedir. MQL yönteminde iyi bir kesme performansı elde etmek için soğutucu bir etki gerektiği belirtilmiştir.

Heinemann vd. [24] MQL yöntemi kullanılarak kaplamalı ve kaplamasız HSS matkaplarla yalın karbonlu çeliğe delikler delmişlerdir. MQL yönteminin fasıllı şekilde

uygulanmasının, sürekli uygulamaya göre takım ömrünü büyük miktarda azalttığını görmüşlerdir.

Dhar vd. [25] AISI 4340 çeliğinin MQL yöntemi kullanılarak kaplamasız karbür takımla tornalama uygulamışlardır. MQL yöntemi, kuru kesme ve akışkan kesme sıvısıyla kesmeye göre daha az takım aşınması, daha uzun takım ömrü, daha iyi yüzey kalitesi sağlamıştır. MQL yöntemiyle ana ve yardımcı kesme kenarlarındaki çentik aşınmaları da azalmıştır. Ortalama serbest yüzey aşınması ve krater aşınmasında da azalma görülmüştür.

Dhar vd. [26], [27] AISI 1040 çeliğini kaplamasız karbür takım ile kuru ve MQL yöntemi kullanılarak farklı kesme hızı ve ilerlemelerde tornalama uygulamışlardır. MQL yöntemi ile kuru işlemeye göre takım aşınması, kesme kuvvetleri ve yüzey pürüzlülüğü yönünden daha iyi sonuçlar elde edilmiştir.

Liao vd. [28] NAK80 sertleştirilmiş çeliğinin kaplamalı karbür parmak freze takım ile yüksek hızda frezelenmesinde MQL yönteminin yararlarını incelemişlerdir. Deneyler, karşılaştırma amacıyla kuru ve akışkan kesme sıvısı kullanılarak da yapılmıştır. MQL yöntemi kullanımının yüzey kalitesini arttırdığı görülmüştür. MQL yöntemiyle yüksek kesme hızlarında düşük viskozitede bir yağın kullanımının daha iyi sonuçlar verdiği belirtilmiştir.

Chiffre vd. [29] AISI 316L östenitik paslanmaz çelik malzemelerin HSS takımlarla raybalanmasında iki nozül aracılığıyla iki farklı şekilde MQL yöntemini kullanmışlardır. Delik ölçü tamlığı ve yüzey pürüzlülüğü açısından MQL yönteminin yüksek kalite sağladığı ve iki nozülün de iş parçasına uygulandığı durumda daha iyi sonuçlar elde edildiği görülmüştür.

Hosokawa vd. [30] AISI 304 östenitik paslanmaz çelik malzemelerin kesme sıvısı olarak biyolojik olarak çözünebilen kesme yağı MQL yöntemi kullanılarak dışarıdan tahrikli döner takımla tornalanmasında oluşan sıcaklıkları incelemişlerdir. Araştırmacılar, MQL yöntemi etkisinin takım dönüş hızı ile ilişkili olduğunu görmüşlerdir. MQL kullanımının, takım dönüş hızının çok küçük veya çok büyük olduğu durumlarda sıcaklığa bir etki gösteremediğini belirtmişlerdir.

Li ve Chou [31] SKD61 (AISI H13) çelik malzemelerin MQL yöntemini kullanarak mikro frezelenmesi sonucunda oluşan takım aşınması, çapak oluşumu ve yüzey pürüzlülüğünü incelemişler özellikle takım malzemesi, soğutma sıvısı ve hava debisinin takım performansına etkileri üzerinde çalışmışlardır. Mikro frezeleme işlemlerinde MQL yöntemi kullanmanın kuru kesmeye oranla takım ömründe ve yüzey pürüzlülüğünde iyileştirmeler sağladığını, çapak oluşumunun azaldığını göstermişlerdir.

MQL yönteminde kullanılan kesme sıvısının ısı iletkenlik, yağlayıcılık vb. özelliklerini arttırmak amacıyla kesme sıvılarına çeşitli nano katkıların eklendiği ve bu katkıların etkilerinin araştırıldığı çeşitli araştırmalarda yapılmıştır.

Hwang vd. [32] akışkanların ısı iletkenliğini ve yağlayıcılık özelliklerini arttırmak için MWCNT, fulleren, CuO (Bakır(II) oksit), SiO₂ (Silikon dioksit) ve Ag (Gümüş) nano katkıları kullanmışlardır. Hazırlanan karışımların ısı iletkenliklerinin, karışımın homojenliği ile ilgili olduğu tespit edilmiştir.

Shen vd. [33] dökme demir malzemelerin MQL, kuru ve akışkan kesme sıvısı kullanılarak taşlanması incelemişlerdir. MQL yönteminde, Al₂O₃ ve elmas esaslı nanoakışkanlar kullanılmıştır. Nanoakışkanın kullanılmadığı MQL yönteminde işlem sıcaklığının kuru işlemeye göre düştüğü, ancak nanoakışkan kullanılmasının sıcaklıkların azalmasında çok fazla bir etki yaratmadığı görülmüştür.

Shen vd. [34] dökme demir malzemelere MQL yöntemi kullanarak taşlama uygulamışlardır. MoS₂ katkılı nanoakışkan kullanılmasının etkilerini incelemişlerdir. Kesme sıvısı olarak, ayrıca parafin yağı, soya yağı ve CANMIST yağ kullanılmıştır. Çalışma sonucunda, nano MoS₂ katkısının taşlama işleminde önemli bir etki oluşturduğunu ve yararlar sağladığı ortaya konulmuştur.

Kwon ve Drzal [35] nano grafit parçacıklarını kesme yağlarına ekleyerek MQL yöntemini kullanmışlardır. Nano grafit katkı özellikle yüksek kesme sıcaklıklarında, kesme sıvısının kararlılığını arttırıp yüzeye tutunmasını sağlayarak yağlayıcılığını arttırmış ve takım çentik oluşumunu azaltarak takım ömrünü arttırmıştır.

Park vd. [36] AISI 1045 çeliğin frezelenmesinde nano grafit katkılı kesme sıvısının MQL yöntemi uygulanarak kullanılması durumunda takım aşınmasını incelemişlerdir. Karşılaştırma amaçlı, nano katkılı ve katkısız MQL yöntemi ve kuru işleme

uygulanmıştır. Nano grafen katkı MQL yöntemi takım deformasyonu açısından en iyi sonuçları vermiştir.

Mao vd. [37] AISI 52100 çeliğin nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi ile taşlanması araştırmışlardır. Nano Al_2O_3 katkı deiyonize su ve MoS_2 katkı kanola yağı nanoakışkan olarak MQL yönteminde ve sentetik emülsiyon yağı akışkan sıvı olarak kullanılmıştır. Çalışmada, kuru işleme de uygulanmıştır. Nano parçacık konsantrasyonunun artırılmasının taşlama performansını arttırdığı ancak nano parçacık çapının artırılmasının taşlama sıcaklığı üzerine fazla etkisinin olmadığı görülmüştür.

1.2 Tezin Amacı

Paslanmaz çelik malzemelerin yüksek pekleşme eğilimi, yüksek mekanik dayanımı ve düşük ısı iletkenlik özelliklerinden dolayı talaşlı şekillendirilebilmesinde güçlüklerle karşılaşmakta ve fazla takım aşınması ve yüzey pürüzlülüğü ile az takım ömrü gibi olumsuz sonuçlar ortaya çıkmaktadır. Ancak, paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı şekillendirmelerinde karşılaşılan tüm bu olumsuz sonuçlara rağmen, otomotiv sanayinden, medikal uygulamalara kadar birçok alanda talaşlı şekillendirme uygulanarak kullanılmalarına devam edilmektedir. Bu malzemelerin talaşlı şekillendirilebilmelerini sağlayabilmek amacıyla çeşitli kesme sıvıları ve kaplamalı takımlar kullanılmakta fakat bu kesme sıvılarının çevreye ve insan sağlığına zararlı olduğu bilinmektedir. Günümüzde geri dönüşümü sağlanabilen, çevre ve insan sağlığına daha az zararlı olan bitkisel yağların kullanılmasına yönelik uygulamalar ile karşılaşmaktadır. Fakat bitkisel kesme sıvılarının bol miktarda tüketilmesi ve bazı uygulamalarda tatmin edici sonuçlar elde edilememesi, maliyet ve işlem kalitesi açısından olumsuz sonuçlar doğurmaktadır. Son yıllarda paslanmaz çelik malzemelerin MQL yöntemi kullanılarak talaşlı şekillendirilmesi gündeme gelmekte ancak bu konuda çok fazla çalışma olmamakla birlikte yöntemin yüksek sıcaklıklarda kısıtlamalara sahip olmasından dolayı da istenilen sonuçlara ulaşılamamaktadır.

Bu çalışmada; AISI 304 östenitik ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzemeler kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımlarla nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi uygulanarak frezelenmiştir. Ticari bitkisel kesme sıvısına katılan nano grafen (ağırlıkça %0,5-%1-%2), MWCNT (ağırlıkça %0,1-%0,15-%0,2) ve nano MoS_2 (ağırlıkça %0,5-%1-

%2) parçacıkların sayesinde kesme sıvısının ısı iletkenliği ve yağlama özelliği arttırılarak, ortama gönderilen nanoakışkan – hava karışımının daha iyi yağlayıcı ve soğutucu özellik göstermesi amaçlanmıştır. Bu sayede MQL yönteminin paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesine uygulanmasında karşılaşılan kısıtlamalar azaltılarak, bir kısmının ortadan kaldırılması amaçlanmıştır. Nano parçacık katılarak özellikleri geliştirilen kesme sıvısının MQL sisteminde kullanılması ile paslanmaz çelik malzemelerin sürdürülebilir ve çevreye duyarlı olarak frezelenmesi amaçlanmıştır.

1.3 Orijinal Katkı

Paslanmaz çelik malzemelerin talaşlı şekillendirilmesi konusunda yapılan çalışmalar incelendiğinde, bu malzemelerin talaşlı şekillendirilebilme kabiliyetlerinin düşük olduğu, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir talaşlı işlenebilmeleri konusunun tam anlamıyla çözülemediği görülmektedir. Bu malzemelerin sürdürülebilir talaşlı imalatında MQL yönteminin kullanımına yönelik literatürde çok az çalışma olmakla birlikte, MQL yönteminin yüksek sıcaklıklarda avantajını kaybettiği de bilinmektedir. Ayrıca, MQL yönteminde kullanılan kesme sıvılarına soğutma ve yağlama özelliklerini geliştirmek amacıyla çeşitli nano parçacıkların katılmasının belirli şartlarda avantaj sağladığıda literatürde belirtilmektedir. Paslanmaz çelik malzemelerin işlenmesinde nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi uygulamasına literatürde rastlanılmamıştır. Bu çalışmada; paslanmaz çelik malzemeler, çevreye duyarlı ve sürdürülebilir talaşlı işleme kapsamında nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi uygulanarak kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımlarla frezelenmiştir. Kesme sıvısı olarak, nano grafen, MWCNT ve nano MoS₂ nano parçacık katkılı ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılmıştır. Nano parçacık türü, karışım oranı ve talaşlı şekillendirme sırasında kullanılan nanoakışkan miktarının östenitik ve martenzitik paslanmaz çelik malzemelerin işlenebilmesine etkileri incelenmiş, bu malzemelerin çevreye duyarlı ve sürdürülebilir talaşlı şekillendirilebilmesi sağlanmış, literatürde görülen bu konudaki boşluk tamamlanmaya çalışılmıştır.

TALAŞ KALDIRMA ve FREZELEME

Talaşlı imalat metal, plastik ve ahşap gibi malzemelerin üzerinden (iç veya dış) talaş denilen malzemenin kaldırılarak şekil verme işlemidir. Talaş kaldırma işlemi, ucu keskin bir takım ile ve takım tezgâhı denilen makinelerde gerçekleştirilmektedir [38].

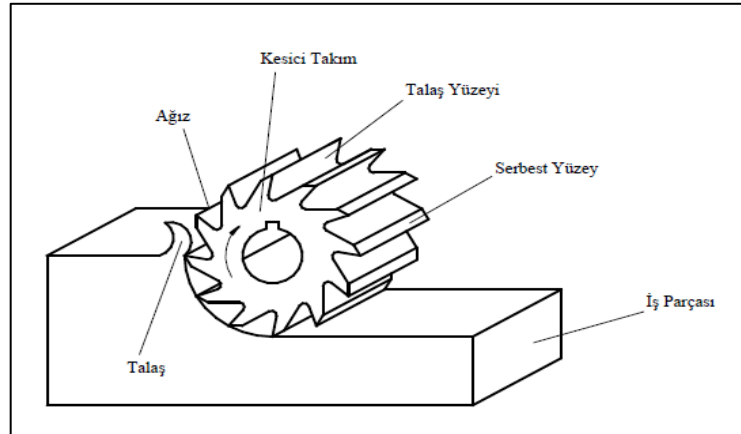
Talaş kaldırma işlemi, takım ile parçaya çeşitli hareketler verilerek gerçekleştirilir. Bu hareketler; kesme, ilerleme ve yardımcı hareket olmak üzere üç çeşittir. Kesme hareketi esas talaş kaldırma işlemi gerçekleştirir. İlerleme hareketi, parçanın uzunluğu veya genişliği boyunca işlenmesini sağlayan hareket olarak tanımlanmaktadır. Yardımcı hareket ise takımın parçaya göre ayarlanmasını sağlayan harekettir. Genellikle kesme hareketi dönme veya doğrusal, ilerleme ve yardımcı hareketler ise doğrusal hareketlerdir. Bu hareketlerin takım veya parça tarafından yapılması, çeşitli talaş kaldırma yöntemlerini meydana getirmektedir [38].

2.1 Frezeleme

Frezeleme işleminde, takım dönme şeklinde kesme hareketini, parça ise ilerleme hareketini gerçekleştirir. Frezeleme takım çevresinde bulunan kesici dişlerin yardımı ile gerçekleşir. Her bir diş kesme ağızına sahiptir ve buna göre freze takımı çok ağızlı bir takımdır. Frezeleme işleminde, kesme işlemi takım çevresinde bulunan kesici dişlerle yapılırsa çevresel frezeleme, takımının alın yüzeyinde bulunan dişlerle yapılırsa alın frezeleme olarak adlandırılır. Ayrıca kanal ve cep açmalarda hem çevresel, hem de alın frezeleme yapan parmak freze takımları da vardır [38].

2.1.1 Çevresel ve Alın Frezeleme

Çevresel frezeleme, eksenini yatay durumda bulunan ve silindirik bir frezenin çevresindeki kesen dişlerle talaş kaldırma biçimidir. Bu yöntemde kesici takımın her bir dişi bağımsız olarak düşünüldüğünde talaş kaldırma işlemi, tornalamada olduğu gibi meydana gelir. Ancak burada iş parçası ilerleme hareketi yapar ve dişler belirli bir eksen etrafında döner. Bu nedenle işlem sırasında talaş kesit alanı devamlı değişir. Tornalama işlemine göre daha karmaşık bir talaş kaldırma mekanizmasına sahiptir. Bunun ilk belirtisi talaş kalınlığının sabit değil değişken olmasıdır. Yöntem olarak zıt yönlü ve eş yönlü olmak üzere iki frezeleme tarzı vardır. Şekil 2.1’de zıt yönlü çevresel frezeleme işlemi gösterilmektedir. Zıt yönlü frezeleme, takım dönüşü ile ilerleme yönünün ters durumunda olduğu işleme yöntemidir. Bu yöntemde kesme işlemi, aşağıdan yukarıya doğru yapılmaktadır. Eş yönlü frezeleme ise, takımın dönüş yönü ile ilerleme yönünün aynı olduğu işleme yöntemidir. Burada kesme işlemi yukarıdan aşağı doğru olduğundan talaş kalınlığı, maksimum değerden sıfıra doğru azalmaktadır [39].



Şekil 2.1 Çevresel zıt yönlü frezeleme ile talaş kaldırma işlemi [39]

Alın frezelemede, kesici takım eksenini işleme yüzeyine diktir. Kesme işlemi kesici dişlerin yan kenarları ile gerçekleşir. Simetrik alın frezelemede frezenin yatay eksenini, işlenen yüzeyin orta çizgisi ile çakıştırır. Eğer iki eksen çakışmıyorsa asimetrik frezeleme işlemi gerçekleşir. Kesici takımın çapı iş parçasının işlenen yüzey genişliği (iş parçasının genişliği) ile aynı ise işlemi tam kavrama olarak, eğer iş parçası genişliği daha küçük ise kısmi kavramalı frezeleme adı verilir. Alın frezeleme işlemlerinde, frezeleme takımının iş parçasına göre giriş ve çıkış açıları sıfır değildir [39].

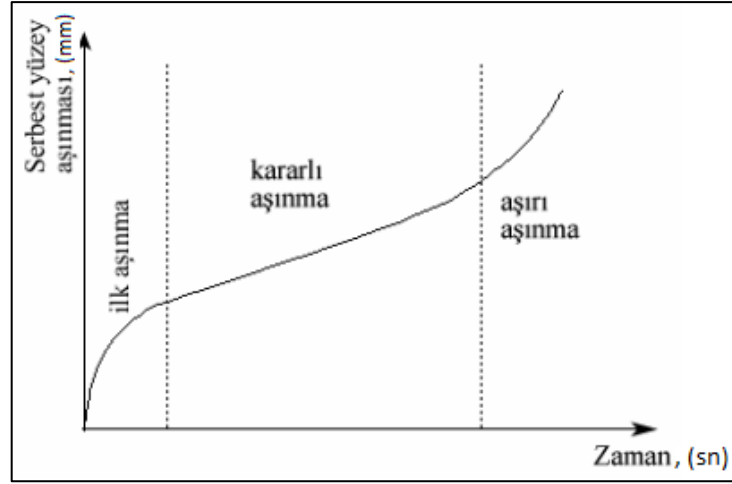
2.2 Takım Aşınması

Aşırı artan ihtiyaçlar teknolojik olarak değişmeyi ve ekonomik rekabeti ortaya çıkarmaktadır. Bu ihtiyaçları karşılamak için de yeni takım malzemeleri araştırılmakta, bunu yaparken de sadece takımların iyileştirilmesi değil, iyi ve kaliteli üretim, hassas yüzey kalitesi, az güç sarfiyatı ve ekonomiklik sağlanması gerekir. Ancak bunlar kesici takımında oluşan aşınma tipleri ve kriterlerinin bilinmesi ve buna göre gerekli tedbirlerin alınması ile gerçekleşir [40].

Aşınma, bir sistemde eş çalışan makine elemanlarında genel olarak ortaya çıkan malzeme kaybı olarak ifade edilir. Talaş kaldırmada ise aşınma etkili kesme zamanının sona ermesi, bunun da takımın orijinal profilini kaybetmesi veya takım ile iş parçasının birbiri ile etkileşim yaparak malzeme kaybına yol açmasıdır. Bu da istenilen ölçü ve boyutta ürün elde edilmesinin sağlanamaması demektir. Bütün kesici takımlar talaş kaldırma işlemleri sırasında aşınır ve bu aşınma, kesici takım ömrünü tamamlayıncaya kadar devam eder [1], [41].

Talaş oluşumu sırasında talaş çok yüksek bir basınçla takım yüzeyine basmakta, talaşın akma sırasında takım yüzeylerinde büyük sürtünmeler meydana gelmektedir (sürtünme katsayısı 0,5–1 arasındadır). Gerek sürtünmelerden, gerekse malzemenin plastik şekil değiştirmesinden ve talaş oluşumundan dolayı yüksek ısı oluşmaktadır. Talaş kaldırma sırasında meydana gelen sürtünmeler ve sıcaklık, takımın aşınmaya karşı mukavemetini azaltıp, aşınmayı hızlandıran etkenlerdir. Sürtünme, parçadan çıkan talaş ile talaşın takım üzerinde kaydığı talaş yüzeyi arasında ve parçanın işlenmiş yüzeyi ile takımın bu yüzeye bakan yüzeyleri arasında meydana gelmektedir [41].

Takım aşınması işleme zamanı ile artmaktadır. İşleme zamanına göre takım serbest yüzey aşınma grafiği çizildiğinde (Şekil 2.2) bu artımın lineer olmadığı görülür. Buna göre takım serbest yüzey aşınması talaş kaldırma işleminin başladığı ilk zamanlarda hızlı bir şekilde artmakta, daha sonra kararlı bir şekilde devam etmekte ve takım ömrünü tamamlamaya yaklaştığı zaman tekrar artmaktadır.



Şekil 2.2 Takım aşınmasının zamana göre değişimi [42]

2.2.1 Takım Aşınmasını Etkileyen Faktörler

Takım aşınması, kesici takımdan koparılan küçük parçacıkların kaybı olduğundan, işlenen yüzey üzerinde de doğrudan kötü etkiye sahiptir. Çünkü parçanın kopmasıyla takım körlenmiş olup kesici takımın serbest açısı 0° 'ye yaklaşacağından, sürtünme artacak ve kesme işlemi esnasında aşınma bölgesi büyüyecektir. Bu durumda kesici takım kesme işleminden ziyade iş parçasını zorlamakta, sıvama veya iş parçası yüzeyinin sertleşmesine yol açmakta, dolayısıyla takım daha da körlenmektedir. Bunun belirli kriterlere bağlı olarak etkili kesme zamanını belirlenmesi gerekir [43].

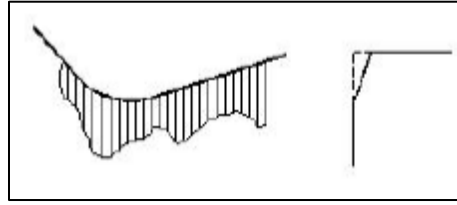
2.2.2 Aşınma Tipleri

Takım aşınma tiplerinin sınıflandırılması, gerçekleştirilecek talaş kaldırma işleminin belirlenmesi ve optimize edilmesi açısından son derece önemlidir. Bu durum, işlem ve iş parçası malzemesi için doğru işleme koşulları ve doğru takım seçilmesiyle gerçekleşir [1].

Beş ayrı aşınma mekanizmasının biri veya bir kaçını bir araya gelerek, serbest yüzey aşınması, krater aşınması, plastik deformasyon, çentik aşınması, termal (ısı) çatlaklar, mekanik yorulma çatlakları, kırılma ve yığılma ağız oluşumu gibi aşınma tiplerini oluşturur.

2.2.2.1 Serbest Yüzey Aşınması

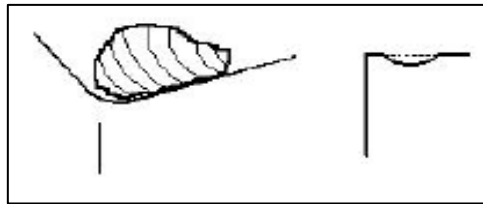
İsminden de anlaşılacağı gibi kesici takımın serbest yüzeyinde abrazif aşınma mekanizmasından kaynaklanan bir aşınma tipidir. Talaşın oluşumu sırasında ve sonrasında ana kesici kenar, yardımcı kesici kenar ve köşe radyüsü iş parçası ile temastadır. Bu tip aşınma genelde karşılaşılabilecek en yaygın aşınma tipidir. Burada amaç serbest yüzey aşınmasının gelişimini kontrol edilebilir bir düzeyde tutmaktır. Serbest yüzey aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması sonucu, yüzey kalitesi kötüleşir. Kesici kenar şekil değiştirdiğinden dolayı sürtünme artar [1], [38]. Şekil 2.3’de kesici takımda serbest yüzey aşınması gösterilmektedir.



Şekil 2.3 Kesici takımda serbest yüzey aşınması [38]

2.2.2.2 Krater Aşınması

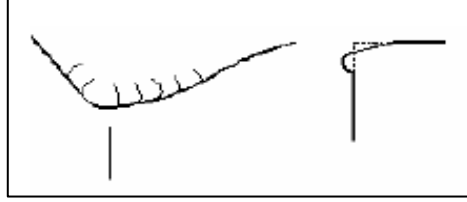
Krater aşınması talaş yüzeyinde abrazyon ve difüzyon aşınma mekanizmaları sebebiyle oluşur. Krater, ya sert parçacıkların takımın talaş yüzeyinden abrazyon etkisiyle veya takım ile talaş malzemesi arasında, talaş yüzeyinin en sıcak kısmında oluşan difüzyon nedeniyle ortaya çıkar. Yüksek sertlik, kızıl sertlik ve malzemeler (takım-iş parçası) arasındaki minimum afinite krater aşınması eğilimini minimuma indirir. Krater aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması kesici kenar geometrisini değiştirir ve talaş oluşumunu bozabilir. Krater aşınması kesme kuvvetlerinin doğrultularını değiştirir ve aynı zamanda kesici kenarı zayıflatır [1], [38]. Şekil 2.4’de kesici takımda krater aşınması gösterilmektedir.



Şekil 2.4 Kesici takımda krater aşınması [38]

2.2.2.3 Plastik Deformasyon

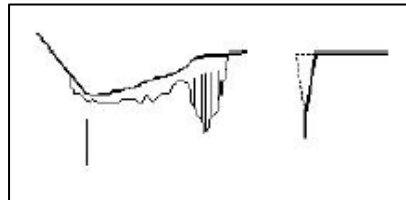
Plastik deformasyon, kesici kenar üzerindeki yüksek basınç ve yüksek sıcaklık kombinasyonunun bir sonucu olarak ortaya çıkar. Yüksek kesme hızı, yüksek ilerleme değeri ve sert iş parçası malzemeleri ısı ve basıncın artması demektir. Takım malzemesinin bunlara karşı koyabilmesi ve plastik olarak şekil değiştirmemesi için yüksek kızıl sertliğine sahip olması gerekir. Kesici kenarda bu şekilde bir deformasyon oluşması yüksek sıcaklıkların oluşmasına, geometrinin deformasyonuna, talaş akışının değişmesine sebep olacak ve kritik bir noktaya ulaşıncaya kadar etkisi devam edecektir. Kesici uç yarıçapı boyutu ve uygun kesici takım geometrisi bu tip aşınmanın önlenmesinde önemli rol oynar [1], [38]. Şekil 2.5'de kesici takımda plastik deformasyon gösterilmektedir.



Şekil 2.5 Kesici takımda plastik deformasyon [38]

2.2.2.4 Çentik Aşınması

Yardımcı kesici kenarda çentik aşınması tipik bir adezyon aşınması olmakla beraber oksidasyon aşınma mekanizması ile büyüyebilir. Asıl kesici kenarda çentik oluşması mekanik yüklerin bir sonucudur ve genellikle daha sert malzemelerin işlenmesi sırasında oluşur. Çentik aşınmasının belirli bir değerin üzerine çıkması ince işlemlerde yüzey kalitesini etkiler, kesici kenarın dayanımını zayıflatır [1], [38]. Şekil 2.6'da kesici takımda çentik aşınması gösterilmektedir.

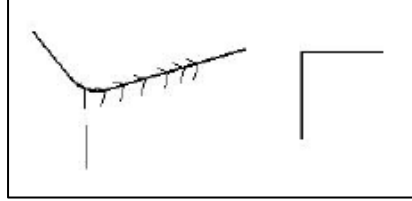


Şekil 2.6 Kesici takımda çentik aşınması [38]

2.2.2.5 Termal (Isıl) Çatlaklar

Termal çatlaklar, çoğunlukla ısıl değişikliklerden kaynaklanan yorulma aşınmasıdır. Özellikle frezelemede oluşan sıcaklık değişimleri bu tip aşınmanın oluşmasına sebep olur. Termal çatlaklar kesici kenara dik olarak ortaya çıkar ve takım malzemesi kenarından dışa doğru zorlanır. Bu zorlanma sonucunda takım malzemesinde ani kırılma ve ucun kullanılmaz hale gelmesi söz konusudur. Kesme esnasında değişken talaş kalınlıkları da sıcaklık değişimlerine etkide bulunur [1].

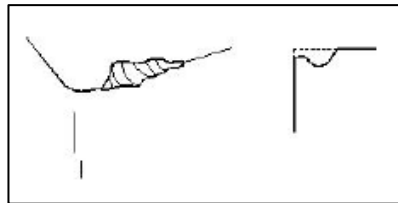
Kesme esnasında, kesme sıvısının yanlış uygulanması, metallere talaş kaldırma esnasında zararlı olabilir. Çünkü yanlış kesme sıvısı uygulanması, talaş kaldırma esnasındaki sıcaklık farklarını daha da arttıracaktır [38]. Şekil 2.7'de kesici takımda termal çatlaklar gösterilmektedir.



Şekil 2.7 Kesici takımda termal çatlaklar [38]

2.2.2.6 Mekanik Yorulma Çatlakları

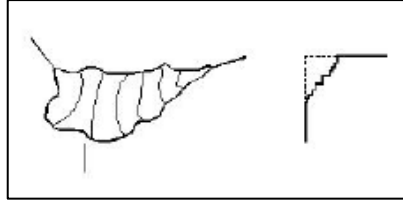
Mekanik yorulma çatlaklarına kesme kuvvetlerindeki ani değişimler neden olur. Kuvvet kendi kendine kırılmaya sebep olmayacak büyüklükte olmakla beraber, yükteki sürekli değişim sonucu oluşan kırılmalardır. Kesmenin başlangıcında ve kesme kuvvetinin büyüklüğü ve yönündeki değişimler kesici ucun dayanımı ve tokluğundan fazla olduğunda bu tip çatlaklar gözlenir. Bu tip çatlaklar, termal çatlaklardan farklı olarak, genellikle kesici kenara paraleldir [1], [38]. Şekil 2.8'de kesici takımda mekanik yorulma çatlakları gösterilmektedir.



Şekil 2.8 Kesici takımda mekanik yorulma çatlakları [38]

2.2.2.7 Kırılma

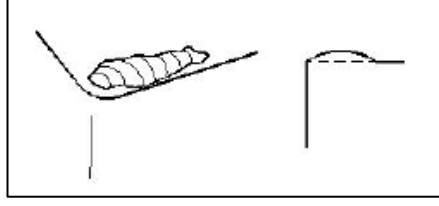
Kırılma, kesici kenarın ömrünün tamamen sona ermesidir. Kenar kırılması genellikle diğer aşınma tiplerinin en son noktasıdır ve en tehlikeli bozulma türüdür. Geometrinin değişmesi, kesici kenarın dayanımının zayıflaması, sıcaklık ve kuvvetlerdeki artışlar kesici kenarın kırılmasına zemin hazırlayacaktır. Ağır kesme şartlarında ve yüksek kesme hızlarında kesici kenar üzerinde oluşan çeşitli gerilmeler kesici ucun mukavemet değerini aştığı zaman kırılma oluşumu kaçınılmazdır [1], [38]. Şekil 2.9'da kesici takımda kırılma gösterilmektedir.



Şekil 2.9 Kesici takımda kırılma [38]

2.2.2.8 Yiğma Ağız Oluşumu

Yiğma ağız oluşumu, önemli ölçüde sıcaklığa ve dolayısıyla kesme hızına ve işlenen malzeme cinsine bağlı bir aşınma tipidir. Yiğma ağız oluşumu, kesici kenar geometrisinde negatif bir değişikliğe sebep olur ve aynı zamanda takım malzemesi yiğma ağız biçimindeki kaynaklanmış malzeme ile birlikte kopup uzaklaşabilir. Kesici takım malzemesiyle iş parçası malzemesi arasındaki afinite de yiğma ağız oluşumunda önemli rol oynar. Düşük sıcaklık ve yüksek basınçlar iş parçası malzemesinin takımın yüzeyine kaynak olmasına sebep olur. Yiğma ağız oluşumu için sıcaklık – kesme hızı ilişkisini veren bölgeler iyi bilindiği için yiğma ağız oluşumu önlenabilir. Modern talaş kaldırma metotlarının çoğu, yiğma ağız oluşan alanın üstündeki kesme hızlarında yer alır. Yiğma ağız oluşumunun ilk zararı genellikle yüzey kalitesinde görülür. Ancak yiğma ağız oluşumu önlenmez ise kesici kenarın kırılması hatta takım ömrünü tamamlaması söz konusu olabilir [1], [38]. Şekil 2.10'da kesici takımda yiğma ağız gösterilmektedir.



Şekil 2.10 Kesici Takımda yığma ağız [38]

2.2.3 Takım Ömrü ve Takım Ömrünü Etkileyen Faktörler

Aşınmalar belirli bir değere ulaştığında işlenen parça yüzeyi bozulmaya başlar, enerji sarfiyatı büyür ve sistemde titreşimler meydana gelebilir. Parça yüzeyini bozan aşınma değeri takımın körelidiğini gösterir ve körelinceye kadar toplam işleme zamanına takım ömrü denilir. Genel bir ifade ile takım ömrü, takımın kesme ucunda kabul edilemeyen bir aşınma büyüklüğü meydana gelinceye kadar geçen talaş kaldırma zamanıdır. Takım ömrü genelde T ile gösterilir ve dakika ile ölçülür [39]. Ancak, her bir takım için takım ömrü kesme şartlarına bağlı olarak farklı olacaktır. Ekonomik bir takım ömrü, uygun kesme şartlarında ve uygun kesici takımla sağlanabilmektedir. Fakat uygun kesme parametrelerinin seçilmemesi durumunda takım ömrü kısılacaktır. Takımın körlenmesi sonucu bilinmesi veya değiştirilmesi maliyetleri yüksek olduğundan, çok kısa takım ömrüne sahip olan takımlar ekonomik olmayacaktır. Başka bir ifadeyle, uzun takım ömrü elde etmek için, çok düşük kesme hızı ve ilerleme hızının kullanılması, üretim hacmini düşüreceğinden dolayı ekonomik olmayacaktır. Uygun takım ömrünün belirlenmesi için, kesici takımda meydana gelecek aşınma mekanizmaları ve tiplerinin iyi analiz edilmesi gerekmektedir. Uluslararası standartlara göre, aşınma ile takımın bozulması, takım ömrünün belirlenmesinde belirli kriterler kullanılmaktadır. Birden fazla aşınma türünün olduğu durumda, her tip aşınma kaydedilmeli bunlardan herhangi birisi aşınma kriteri limitine ulaştığı zaman takım ömrüne ulaşılmış kabul edilir [41].

Takım ömrünü etkileyen önemli faktörler aşağıdaki gibi sıralanabilir;

Kesme şartları; kesme işleminin optimizasyonu için kesme hızı ve takım ömrü arasındaki ilişkiyi bilmek gerekir. Bu konuda ilk çalışma Taylor tarafından yapılmış olup, aşağıdaki ampirik formül ile ifade edilmiştir.

$$V.T^n = C \quad (2.1)$$

ilerleme ve kesme derinliği değerlerinin ilavesiyle;

$$T = \frac{K}{V^k \cdot f^x \cdot a^y} \quad (2.2)$$

T: Takım ömrü (dak)

V: Kesme hızı (m/dak)

n: Parça ve takım malzemesine bağlı bir sabit

C: Deney koşullarına bağlı bir sabit

f: İlerleme (mm/dev)

a: Kesme derinliği (mm)

K: Takım geometrisi ve takım-iş parçası için bir sabit

k, x, y: Sırasıyla hız, ilerleme ve kesme derinliğinin üstelleri [44].

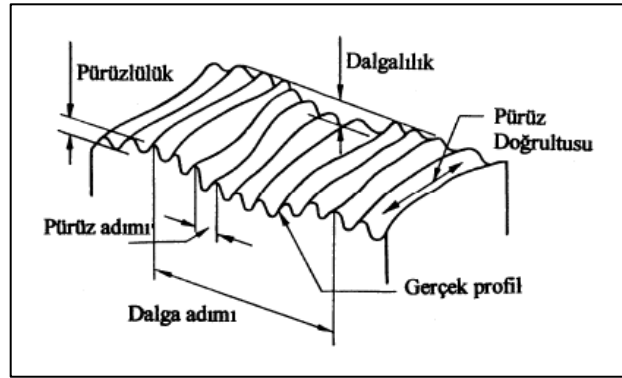
Takım Geometrisi; bu faktör, talaş kaldırmada oluşan kesme kuvvetlerini, talaş formasyonunu, ısıyı etkileyerek aşınmayı oluşturur. Gevrek ve sert metal takım malzemelerinde, genellikle küçük veya negatif talaş açıları verilir. Böylece takımın dayanımı arttırılır. Büyük talaş açıları, ısı geçiş alanının daraltılmasını sağlar. Bununla beraber takım mukavemetinin azalmasına neden olur. Optimal bir talaş açısının seçilmesiyle oluşturulan takım geometrisi, aşınma oluşumunda etkin bir faktördür [44].

Takım Malzemesi; takım malzemeleri, yüksek sertlik ve dayanıma sahip olduklarından iyi bir aşınma direnci, tokluk ve yüksek sıcaklıklarda kararlılık gösterirler. En uzun ömürlü takım malzemesi seramikler, sonra sert metaller ve HSS takımlardır [44].

İş Parçası Malzemesi; iş parçası malzemesinin mikro yapısı, sertliği ve çalışma sertleşmesi gibi özellikleri, stabilite ve takım aşınması üzerinde etkili olduğundan takım ömrünü belirlerler. İş parçası malzemesi sertleştikçe kesici takım daha çok aşınır dolayısıyla takım ömrü azalmaya başlar. Çeşitli özellikteki katmanlardan oluşan iş parçası malzemesi, aşınmayı ve takım ömrünü etkilediğinden, seçilen malzemenin yapısı ve kompozisyonu homojen olmalıdır. Pekleşme bazen istenilen bir durum olmasına rağmen takım ömrünü azaltır. Takım ömrünü etkileyen diğer faktörlerden bazıları talaş geometrisi, kesme sıvısı ve takım tezgahıdır [44].

2.3 Yüzey Kalitesi

Talaş kaldırmanın amacı; sadece şekil vermek değil, aynı zamanda parçanın boyut ve yüzey özellikleri bakımından belirli bir doğruluk derecesine göre imal edilmesini sağlamaktır. Bu olaya genel olarak işleme kalitesi denir. İşleme kalitesi; boyut, geometrik ve yüzey kalitesinden meydana gelir. Bir takım tezgahında, üretilen parçanın kalitesi, tezgahın kararlılık derecesinin ölçüsüdür. Zira herhangi bir talaşlı imalat sisteminin çıktısı işlenmiş yüzeylerdir. Talaş kaldırma ile işlenen yüzeylerde, dalgalılık ve pürüzlülük olmak üzere iki tür yüzey sapması meydana gelir. Dalgalılık yüzeyin geometrik şeklini karakterize ederken, pürüzlülük yüzey kalitesini tayin eder (Şekil 2.11) [37], [45].



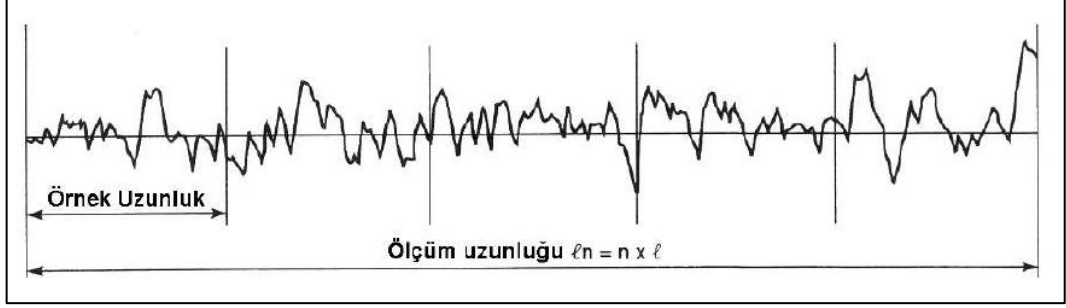
Şekil 2.11 İşlenmiş yüzeyde yüzey pürüzlülüğü ve dalgalanma [46]

2.3.1 Yüzey Pürüzlülüğü

Standart yüzey pürüzlülüğü değerlendirme kriterleri, yüzeye dik olan bir kesitte belirli bir numune uzunluğu boyunca, belirli bir referans profiline ve profil ortalama çizgisine göre tayin edilir. Referans profil olarak genellikle geometrik profil alınır [41].

Yüzey pürüzlülüğü ölçümlerinde genellikle aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) dikkate alınır. Aritmetik ortalama yüzey pürüzlülüğü (R_a) gereksinimi yaklaşık olarak $1,6 \mu\text{m}'$ yi geçtiği durumlarda çoğu zaman imalatçılar yüzey pürüzlülüğünü ölçmekten çok görsel kontrolü seçerler. Yüzey pürüzlülüğünün çok önemli olduğu durumlarda yüzey pürüzlülüğü kalite kontrolü gerekir [41]. Bitirme yüzeyinin yapısı ve gösterimi ANSI standardında ve ISO 1302'de belirtildiği gibi sembollerle gösterilir. Pürüzlülük, profil ortalama çizgisinden mikron (μm) olarak ifade edilen aritmetik ortalama sapması olarak tanımlanır [43].

Profil üzerinde alınan “örnek uzunluklarının (l)” bir araya gelmesiyle “ln” ile ifade edilen “ölçüm uzunluğu” oluşur. Eğer profil “n” adet örnekleme uzunluğu içeriyorsa ölçüm uzunluğu $ln=l.n$ ile hesaplanır (Şekil 2.12) [47].



Şekil 2.12 Yüzey pürüzlülüğü ve değerlendirilmesi [47]

2.3.2 Yüzey Pürüzlülüğünü Etkileyen Faktörler

Yüzey pürüzlülüğü, kesme hızı, ilerleme, takım aşınması ve kesme kuvvetleri gibi kesme parametrelerine ve takım geometrisine bağlıdır. İstenilen yüzey pürüzlülüğünün elde edilmesi, iş parçasının gerekli fonksiyonel özelliklerini yerine getirmesini sağlamak için önemlidir. Yüzey pürüzlülüğü, iş parçalarının aşınma, ısı iletimi vb. mekaniksel ve fiziksel özelliklerini de etkilemektedir. Yüzey pürüzlülüğüne; kesici takım özellikleri, işleme parametreleri, iş parçası özellikleri ve diğer kesme parametreleri olmak üzere dört ana parametre etki eder [48].

İşlenebilirlik göstergeleri olarak kesici takım aşınması, yüzey pürüzlülüğü gibi faktörler genel olarak dikkate alınan parametrelerdir. Ayrıca yüzey pürüzlülüğüne etki eden farklı birçok etken vardır. Bunlar ilerleme hızı, malzeme sertliği ve karakteristiği, kesme hızı, kesme derinliği, kesme zamanı, kesici takım uç radyüsü, kesici takım ayar açısı, takım tezgahının rijitliği ve iş parçasının bağlama şekli, titreşim ve kesme sıvısıdır [48].

2.4 Talaş Kaldırmada Isı Oluşumu

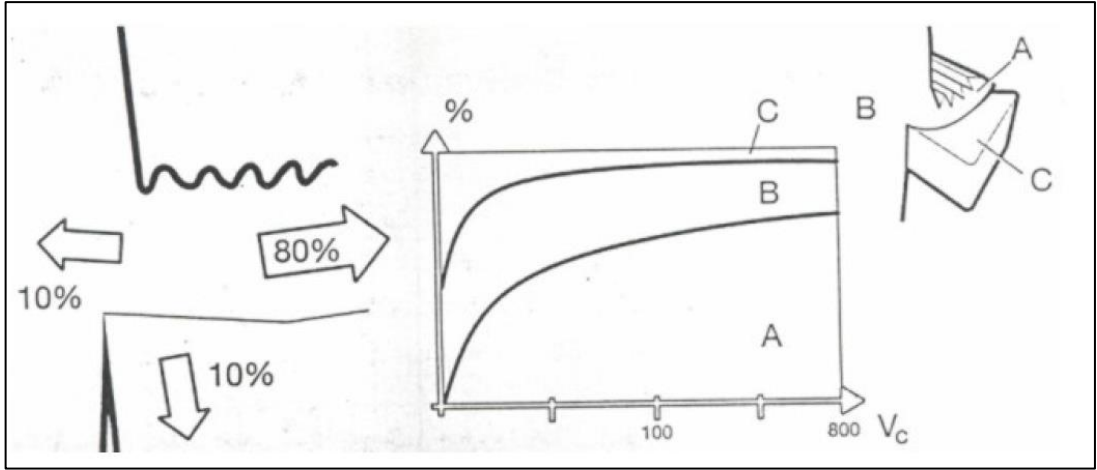
Bir malzeme plastik olarak deforme edildiği zaman, uygulanan kuvvetlerden oluşan mekanik enerjinin hemen hemen tamamına yakın kısmı ısıya dönüşür. Talaş kaldırma sırasında malzeme, Şekil 2.13’de görüldüğü gibi birinci deformasyon bölgesinde aşırı derecede gerinmeye maruz kalır. Gerinim için harcanan enerji, elastik gerinim için harcanan enerjiden oldukça yüksektir. Bundan dolayı, mekanik enerjinin yaklaşık olarak

Talaş kaldırma sırasında en büyük ısı, birinci deformasyon bölgesinde ortaya çıkar. Bu sebeple, takım ve talaş arasındaki temas miktarı ve kalitesi performansı etkilemektedir [49].

İş parçasının işlenmesi sırasında oluşan talaş, kesme yapılan bölgede, sürtünmeden dolayı oluşan ısıyı uzaklaştırma görevi görür. Bu nedenle takım-talaş arasındaki sürtünmenin en aza indirgenmesi gerekmektedir. Yüzeyler arasında oluşan talaş yapışması da sürtünmeyle ilgilidir. İş parçası üzerinde talaş kaldırma miktarını arttırmak, daha fazla malzemeyi daha kısa zamanda işleyebilme anlamına gelir ve bu kesme hızını, ilerlemeyi ve kesme derinliğini arttırarak yapılır. Bunu ekonomik bir şekilde yapmak kesici takım ve iş parçası malzemesinin işleme faktörlerine bağlıdır. Bu faktörler takım tezgahı, kesici takım, kesme sıvısı ve işlenecek malzeme özellikleridir. Kesme işlemini kolaylaştırabilmek için kesme şartları, kesici takım ve iş parçası malzemesi değiştirilebilir. Kesici takımla kısa sürede daha fazla talaş kaldırmak için kullanılan güçteki artış, takım kesme kenarının yakınında ısı oluşumunun artışına sebep olur ve iş parçasını işlemede kullanılan kuvvet büyük ölçüde ısıya dönüşür. İş parçasında oluşan ısı, kesici takım, iş parçası, oluşturulan talaş ve kesme sıvısı tarafından kesme bölgesinden uzaklaştırılır [50].

Talaş kaldırma işleminde, kullanılan kesme sıvıları önemli bir rol oynar. Kesme sıvılarının, kesici takım, iş parçası ve tezgahı soğutmak, oluşan talaşı kesme bölgesinden uzaklaştırmak ve iyi bir iş parçası yüzeyi elde etmek gibi fonksiyonları vardır. Ayrıca talaş-takım ara yüzeyinde yağlayıcı özellik de gösterir [50].

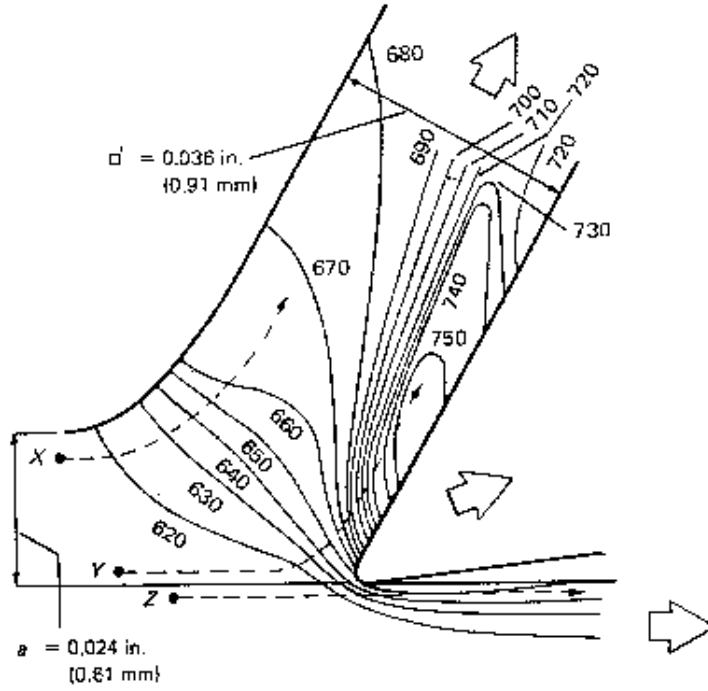
Talaş kaldırma sırasında oluşan ısının büyük bir kısmı, kesme bölgesinden talaşla uzaklaştırılır. Talaş üzerinde bulunan ısı, talaşla kesici takımın temasta olduğu temas yüzeyi boyunca takımı etkileyecektir. Aşınmadaki artışla ve azalan takım ömrüyle takım-iş parçası arasındaki sürtünme yüzeyi büyüyeceğinden bu bölgedeki ısı oluşumu da artacaktır. Metallerin işlenmesi sırasında takım, talaş ve iş parçası üzerine ısının dağılımı Şekil 2.14'de gösterilmiştir. Şekil 2.14'de A talaştaki, B iş parçasındaki ve C ise kesici takımdaki ısı dağılımını göstermektedir [49].



Şekil 2.14 Metal işlemede ısı dağılımı [1]

2.4.1 Talaş Kaldırmada Sıcaklık Dağılımı

Şekil 2.15’de dik kesme sırasında talaş ve iş parçasında oluşan ve deneysel olarak belirlenmiş sıcaklık dağılımları gösterilmektedir. Kesici takıma doğru hareket eden malzemedeki X noktası, birinci deformasyon bölgesine doğru yaklaşır ve geçer. X noktası bu bölgeden ayrılana kadar ısıtılır ve ısı talaş içine doğru taşınır. Y noktası her iki deformasyon bölgesinden geçer ve ikinci deformasyon bölgesinden ayrılana kadar ısıtılır. Bu nokta, talaş gövdesinde ısı iletimi yoluyla soğutulur ve talaşta üniform bir sıcaklık dağılımı oluşturulur. Böylece, kesici kenardan belirli bir mesafede, takım yüzeyi boyunca maksimum sıcaklık oluşur. İş parçası içinde kalan Z noktası, birinci deformasyon bölgesinden ısı iletimi yoluyla ve takım işlenmiş parçanın yüzey temasıyla sürtünmesi nedeniyle ısıtılır [49].



Şekil 2.15 Dik kesme sırasında talaş ve iş parçası arasındaki sıcaklık dağılımına bir örnek [51]

2.4.2 Talaş Kaldırma Bölgesindeki Sıcaklığı Etkileyen Faktörler

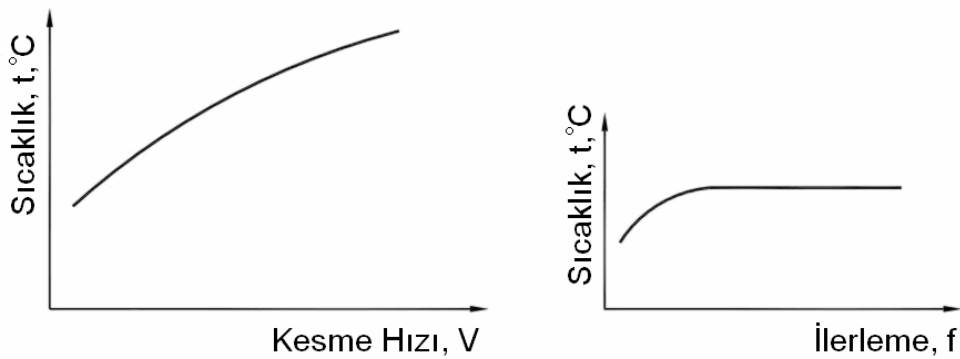
Kesme bölgesindeki sıcaklık; kesme hızı, ilerleme miktarı, kesme derinliği ve takım geometrisi gibi faktörlerden etkilenmektedir. Aynı zamanda sıcaklık kesici takımın fiziksel özellikleri kadar işlenen malzemenin de özelliklerine bağlıdır [50].

Talaş kaldırma sırasında oluşan enerjinin bir miktarı, kesici takımın ısı iletkenliğine bağlı olarak talaşa aktarılmaktadır. Çoğu takım malzemesinin ısı iletkenliği, sıcaklığın artması ile artmaktadır. Kesici takımın ısı iletkenliği genellikle çok düşük olduğunda, talaştaki sıcaklık özellikle talaşın alt kısmında oldukça yüksektir. Talaşın temas boyu ile kesici takımın özellikleri arasında bir ilişki vardır. Düşük termal iletkenliği olan takımlarda kısa temas uzunluğu ve küçük çaplı talaşlar görülür. Bundan dolayı, talaşlar kesici takımdan hemen ayrılır ve takımın üzerindeki krater aşınması kesme kenarına çok yakın oluşabilir [50].

Sürekli olmayan kesme işlemi sırasında oluşan ısı, takım ömrü üzerinde önemli bir faktördür. Oluşan ısı normal kesme işlemindeki ile aynı şekilde oluşmakla beraber ısı oluşumu değişkendir. Aktif talaş kaldırılan zamanlarda ısı yükselir, pasif zamanlarda ise

düŖer. Bu deęiŖim, kesici takım üzerinde termal yorulmalara neden olur ve bu yorulma takım performansında azalmaya sebep olur [50].

TalaŖ kaldırma esnasında ortaya çıkan ısı, kesme kuvvetleri ve iŖlenen iŖ parçası malzemesine göre farklılık gösterir. Kesme parametrelerinden kesme hızı ve ilerleme ısı oluşumu üzerinde çok önemli bir rol oynarlar. Isı oluşumunda kesme hızının ilerlemeye göre daha etkili olduğu bilinmektedir. Ayrıca kesme hızı ile sıcaklık arasındaki iliŖki malzemenin alaŖım elementlerine ve diğer malzeme parametrelerine bağlı olarak önemli ölçüde deęiŖmektedir [1], [49]. Kesme hızı ve ilerleme parametrelerinin sıcaklıkla olan iliŖkisi Ŗekil 2.16'da gösterilmiŖtir.



Ŗekil 2.16 Sıcaklığın kesme hızı (V) ve ilerleme (f) ye bağlı olarak deęiŖmesi [52]

Kesici takım malzemelerinin geliŖimi ile birlikte takım malzemelerinin yüksek sıcaklığa dayanımı arttırılmıŖtır. Yüksek kızıl sertlik özellikleri sayesinde, WC takımlar ile HSS takımların çalışma sıcaklıklarının iki katı sıcaklıklarda çalışmak mümkündür. Isı dağılımının anlaşılabilmesi ve sıcaklığın özellikle talaŖ yüzeyinde kontrolü, kesici takım geometrisinin iyileŖtirilmesine katkı saęlamıŖtır [1].

BÖLÜM 3

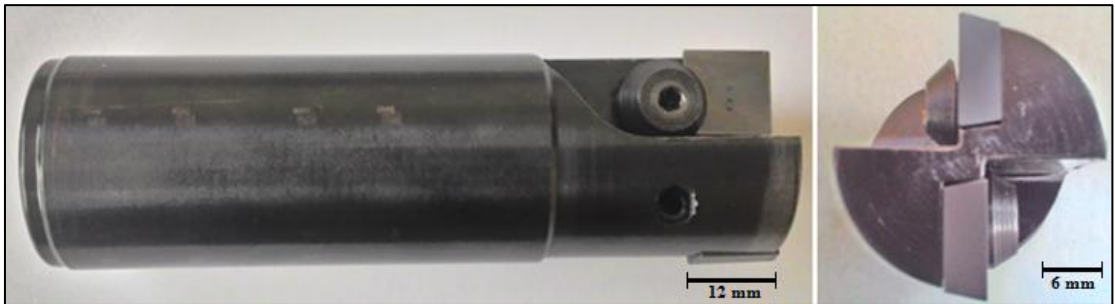
DENEYSEL ÇALIŞMA

Bu bölümde, deneysel çalışmalarda kullanılan malzemeler, tezgah, cihazlar ve ekipmanlardan bahsedilip, nanoakışkanların hazırlanması ve viskozite ölçüm sonuçlarına değinilecektir .

3.1 Malzeme

Deneysel çalışmalarda, iş parçası malzemesi olarak AISI 304 östenitik ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzemeler seçilmiştir. Kullanılan AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi; %0,023 C, %0,49 Si, %1.51 Mn, %0,027 P, %0,003 S, %18,1 Cr, %8,1 Ni ve %0,054 N, AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin kimyasal bileşimi; %0,036 C, %0,42 Si, %0.37 Mn, %0,022 P, %0,003 S ve %13,11 Cr içermektedir.

Deneylerde kullanılan takım tutucu Şekil 3.1’de görülmekte olup, çapı 32 mm ve 2 adet plaketa mekanik sıkımal olarak tutucuya monte edilmektedir. Deneyler, kaplamasız veya TiN (Titanyum Nitrür) kaplamalı SPHN 120404 WC (Tungsten Karbür) kesici takımlar kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.1 Kullanılan takım tutucu ve SPHN 120404 kesici uçlar

Deneylerde kesme sıvısı olarak Eraoil KT/2000 ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılmıştır. Bitkisel kesme sıvısı kırmızı renkli olup yoğunluğu $0,85 \text{ g/cm}^3$ (20°C) ve viskozitesi 11 cst (20°C) 'dir. Bitkisel kesme sıvısı, yüksek direnç oluşturan katkıları içeren, sülfür katkıları içermeyen, hidrodinamik yağlama özelliğine sahip ve özellikle püskürtmeli sistemlerde kullanıma uygun bir yağdır. Özellikle püskürtme usulü çalışan sistemlerde kesme, sıvama, zımbalama, diş açma ve talaş kaldırma gibi zor proseslerde tercih edilmektedir.

Deneyisel çalışmalarda, ticari bitkisel kesme sıvısının performansının artırılması amacıyla nano grafen, MWCNT (Çok Duvarlı Karbon Nanotüp) ve nano MoS_2 (Molibdendisülfür) parçacıkları kullanılmıştır.

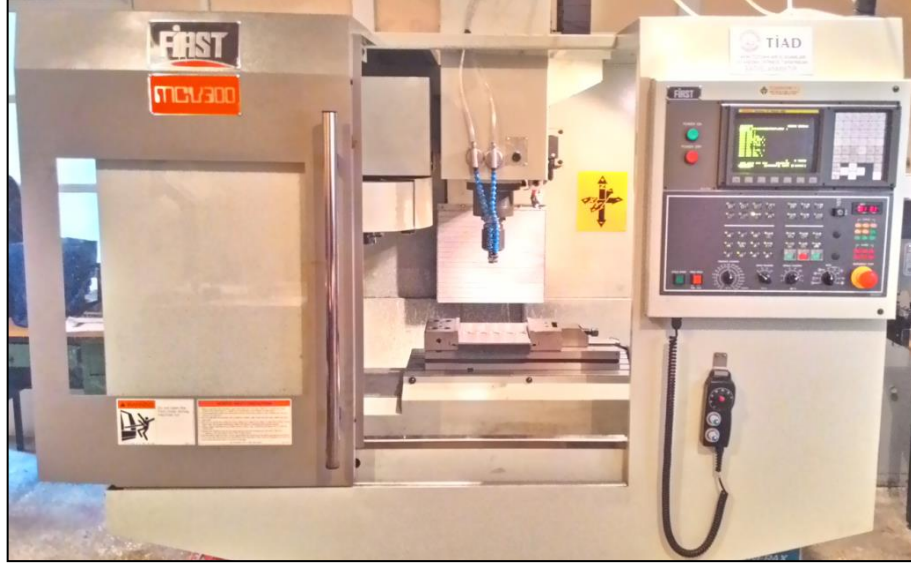
Kullanılan MWCNT, NANOCYL™ marka NC7000 serisi olup %90 saflıkta katalitik karbon buhar biriktirme yöntemi ile üretilmiştir. MWCNT parçacıkların ortalama çapı 9,5 nm, ortalama uzunluğu $1,5 \mu\text{m}$ ve yüzey alanı $250\text{-}300 \text{ m}^2/\text{g}$ aralığında olup ısı iletkenlik katsayısı yaklaşık 3000 W/mK 'dir.

Kullanılan nano grafen, GRAFEN®-NG5 marka ve model olup %99 saflık ve yaklaşık $0,05 \text{ g/cm}^3$ yoğunluğa sahiptir. Nano grafen parçacıkların çapı $5\text{-}10 \mu\text{m}$, kalınlığı $5\text{-}8 \text{ nm}$ ve özgül yüzey alanı $120\text{-}150 \text{ m}^2/\text{g}$ aralıklarında değişmekte ve ısı iletkenlik katsayısı yaklaşık 5000 W/mK 'dir.

Kullanılan nano MoS_2 ise ENK- MoS_2 -307 marka ve model olup %99,9 saflıkta ve $0,98 \text{ g/cm}^3$ yoğunluktadır. Nano MoS_2 parçacıkların boyutları $10\text{-}20 \text{ nm}$ arasında değişmekte, yüzey alanı yaklaşık $120 \text{ m}^2/\text{g}$ ve ısı iletkenlik katsayısı yaklaşık 35 W/mK 'dir.

3.2 Deneylerde Kullanılan Tezgâh, Cihaz ve Ekipmanlar

Deneyler, Şekil 3.2'de görülen First marka MCV-300 model CNC işleme merkezi kullanılarak gerçekleştirilmiştir olup, CNC işleme merkezi maksimum 8000 dev/dak iş mili devrine sahiptir.



Şekil 3.2 CNC işleme merkezi

Minimum Miktarda Yağlama işlemi, Şekil 3.3'de görülen ve özellikleri Çizelge 3.1'de verilen Werte marka Mikro DKN 25 model mikro yağlama sistemi kullanılarak gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.3 Deneylerde kullanılan MQL sistemi

Çizelge 3.1 Mikro yağlama sisteminin özellikleri

Kontrol paneli	LCD dokunmatik
Çalışma voltajı	24 V AC/DC
Enerji tüketimi	5 W
Çalışma basıncı	4-6 bar
Rezervuar	2,5 lt
Yağlama aralığı	0,1 sn – 60 saat
Yağlama miktarı ayarı	24 kademe
Yağlama süresi	0,1 sn – 60 sn
Yağ miktarı (min)	0,0012 ml
Yağ miktarı (maks)	0,028 ml
Çalışma sıcaklığı	10-80°C
Viskozite aralığı	2 – 30 cst

Frezeleme işlemleri esnasında sıcaklık ölçümleri Şekil 3.4’de görülen ve özellikleri Çizelge 3.2’de verilen Optris marka CTlaser 3MH1 model çift lazerli temassız sıcaklık ölçüm cihazı ile gerçekleştirilmiştir. Ölçülen sıcaklık değerleri Compact Connect yazılımı aracılığıyla bilgisayar ortamında işlenmiştir. Temassız sıcaklık ölçerler fiziksel temas olmaması, hızlı cevap vermesi, malzeme üzerine olumsuz etkisi olmaması gibi avantajlar sunmaktadır [53], [54]. Sıcaklık ölçümleri sırasında, lazer ışını kesici takım uç noktasına odaklanmış ve o noktadan işlem boyunca ölçüm alınmıştır. Bu çalışmada ölçülen sıcaklıklar daha çok uygulama şartlarının değiştiği işlemleri karşılaştırmak için kullanılmıştır.



Şekil 3.4 Deneilerde kullanılan temassız sıcaklık ölçüm sistemi

Çizelge 3.2 Temassız sıcaklık ölçüm cihazının özellikleri

Sıcaklık ölçüm aralığı	150-1000°C
Spektral aralık	2,3 µm
Optik çözünürlük	300:1
Sistem hassasiyeti (23±5°C ortam sıcaklığında)	± %0,3
Tekrarlanabilirlik (23±5°C ortam sıcaklığında)	± %0,1
Ölçüm zamanı	1 ms
Ortam sıcaklığı	-40-85°C (ölçüm kafası) 0-85°C (elektronik ünite)

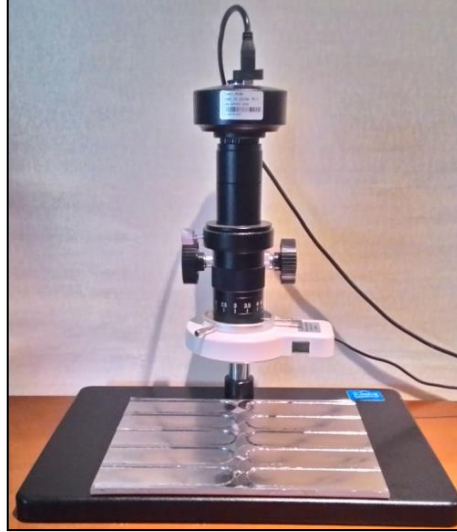
Kesici takımların serbest yüzey aşınmaları, Şekil 3.5’de görülen SOIF marka XJP-6A model trinoküler metal mikroskobu ve 9 MP MD90 kamera kullanılarak 100x büyütmeyle görüntülenmiş olup aşınma ölçümleri MShot yazılımı kullanılarak bilgisayar ortamında gerçekleştirilmiştir. Ayrıca serbest yüzeylerin SEM görüntüleri ise FEI Philips XL30 ESEM-FEG cihazı kullanılarak elde edilmiştir.



Şekil 3.5 Deneylerde kullanılan trinoküler metal mikroskop

Frezeleme işlemi esnasında oluşan çapakların görüntüleri ise Şekil 3.6’da görülen 0,7x-4,5x büyütme kapasitesine sahip SOIF marka XLB45-B3 model dijital stereo mikroskop ve 3 MP MD30 kamera kullanılarak elde edilmiştir.

Frezelenmiş yüzeylerin aritmetik ortalama yüzey pürüzlülük değerleri (R_a) ise 5 μm çapında TS110 elmas uçlu detektöre sahip, hareket hızı 1 mm/s ve çalışma sıcaklığı 5-45°C olan ve 0,25-0,8-2,5 mm ölçüm uzunluklarında çalışabilen Şekil 3.7'de görülen Time marka TR200 model yüzey pürüzlülük ölçüm cihazı kullanılarak ölçülmüştür. Ölçümler esnasında cihazın hassas yükseklik ayarı dijital mihengir kullanılarak sağlanmıştır.



Şekil 3.6 Deneylerde kullanılan stereo mikroskop



Şekil 3.7 Deneylerde kullanılan yüzey pürüzlülük cihazı

Karışımların hazırlanmasında kullanılan nano parçacıkların tartılmasında Şekil 3.8a'de görülen maksimum 510 g tartma kapasiteli, 128x128 mm boyutlarında ve 1 mg hassasiyetli Radwag marka PS 510.R1 model hassas terazi kullanılmıştır. MWCNT, nano

grafen ve nano MoS₂ parçacıklar, 55 litre kapasiteli, 0,1°C ayarlama hassasiyetine sahip, ± 1°C doğrulukta ve ± 2°C kararlılıkta çalışabilen Şekil 3.8b'da verilen Termal marka G11420SD model etüv kullanılarak kurutulmuşlardır Nano parçacıkların ticari bitkisel kesme sıvısına katılmasıyla hazırlanan nanoakışkanların homojenizasyonun sağlanması için karıştırılması, maksimum 15000 dev/dak hıza, 50-2500 ml çalışma aralığına ve AISI 304 paslanmaz çelik karıştırıcı uca sahip Şekil 3.8(c)'de görülen Daihan marka WiseTis HG-15D model dijital homojenizatör kullanılarak gerçekleştirilmiştir. Hazırlanan nanoakışkanların viskozite analizleri ise AND marka ST100 model viskozite tayin cihazında gerçekleştirilmiştir.



Şekil 3.8 Deneylerde kullanılan a) hassas terazi, b) etüv, c) dijital homojenizatör

3.3 Nanoakışkanların Hazırlanması

Nanoakışkanlar hazırlanmasında kullanılacak nano parçacıklar, ısıya dayanıklı cam kaba serilerek nemlerinin alınması amacıyla 2 saat süreyle Etüv'de 120°C sıcaklıkta kurutulmuştur. Kurutulan nano parçacıkların fırın içerisinde bekletilerek oda sıcaklığına kadar soğumaları sağlanmıştır. Kurutulan nano parçacıkların kesme sıvısına katılma miktarları literatürde yapılan çalışmalar ve ön deneyler sonucunda belirlenmiş olup, MWCNT ağırlıkça %0,1-%0,15-%0,2-%0,5-%1-%3, nano grafen ve nano MoS₂ ağırlıkça %0,5-%1-%2-%3 olacak şekilde katılmışlardır. Nanoakışkanların homojenliğinin artırılması, çökme miktarlarının minimuma indirilip, çökme sürelerinin uzatılması amacıyla, MWCNT ve nano grafen katkılı nanoakışkanlara nano parçacık ağırlığının %0,1'i oranında SDS (Sodyum Dodesil Sülfat) yüzey etkin madde olarak ve nano MoS₂ katkılı nanoakışkanlara nano parçacık ağırlığının 2 katı kadar lesitin emülsifer olarak eklenmiştir. Karışımların belirtilen oranlarda hazırlanması için hassas terazi ve ölçekli

kaplar kullanılmıştır. Hazırlanan karışımlar, 500 dev/dak devirde 2 saat süreyle dijital homojenizatör aracılığıyla karıştırılmış olup homojen bir karışım elde edilmiştir.

3.4 Viskozite Ölçüm Sonuçları

Deneysel çalışmalarda kullanılacak kesme sıvılarının nano parçacık katkı oranlarının belirlenmesi amacıyla hazırlanan nanoakışkanların viskozite ölçümleri gerçekleştirilmiştir. Deneylede kullanılan MQL sisteminde, 2-30 cst aralığında viskoziteye sahip nanoakışkanlar kullanılabilirdi için Çizelge 3.3’de viskozite ölçüm sonuçları görülen nanoakışkanlar ağırlıkça %0,1-%0,15-%0,2 katkı oranlarında MWCNT ve ağırlıkça %0,5-%1-%2 katkı oranlarında nano grafen ve nano MoS₂ kesme sıvısı olarak seçilmiştir. Bu oranlar, aynı zamanda ticari bitkisel kesme sıvısına katılan nano parçacıklardan fayda sağlanabilecek şekilde literatürde yer alan çalışmalar göz önüne alınarak belirlenmiştir.

Çizelge 3.3 Saf bitkisel kesme sıvısı ve hazırlanan nanoakışkanların oda sıcaklığında ölçülen viskozite değerleri

Nanoakışkan	Viskozite (cst)
Saf Bitkisel Kesme Sıvısı	11
Saf Kesme Sıvısı + %0,1 MWCNT	15,7
Saf Kesme Sıvısı + %0,15 MWCNT	18,3
Saf Kesme Sıvısı + %0,2 MWCNT	21,7
Saf Kesme Sıvısı + %0,5 MWCNT	77,6
Saf Kesme Sıvısı + %1 MWCNT	372
Saf Kesme Sıvısı + %3 MWCNT	Katılma meydana geldi
Saf Kesme Sıvısı + %0,5 Grafen	12,9
Saf Kesme Sıvısı + %1 Grafen	14
Saf Kesme Sıvısı + %2 Grafen	14,4
Saf Kesme Sıvısı + %3 Grafen	16,8
Saf Kesme Sıvısı + %0,5 MoS ₂	11,7
Saf Kesme Sıvısı + %1 MoS ₂	12,5
Saf Kesme Sıvısı + %2 MoS ₂	14,2
Saf Kesme Sıvısı + %3 MoS ₂	15,6

BÖLÜM 4

DENEYSEL SONUÇLAR

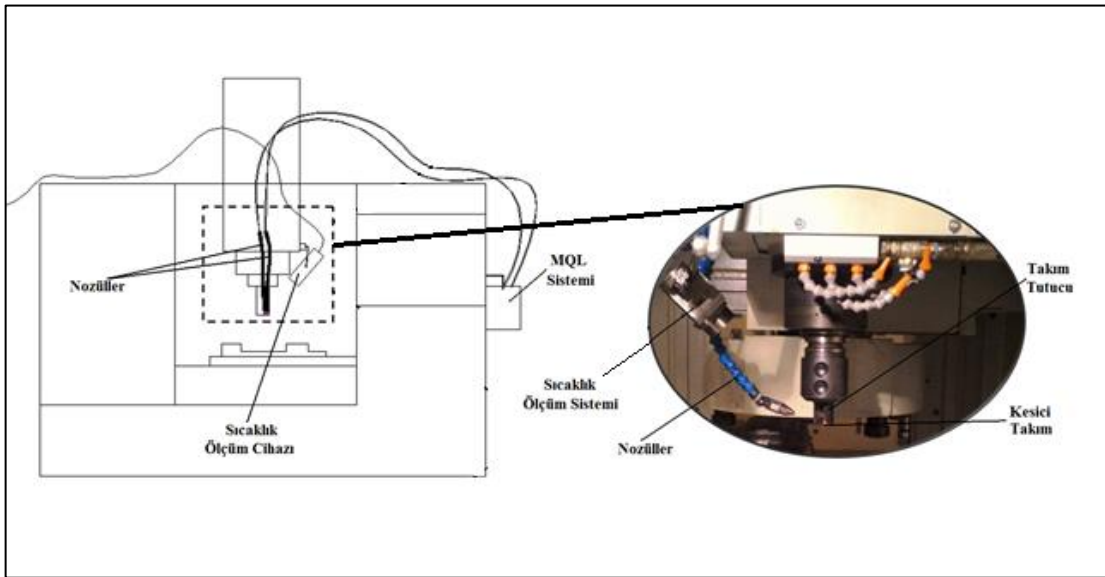
Deney parametreleri, paslanmaz çeliğin frezelenmesi hakkında literatürde yapılan araştırmalar incelenerek ve gerçekleştirilen ön deneyler sonucunda kesme hızı 100 m/dak, ilerleme 0,18 mm/dev ve kesme derinliği 0,5 mm olarak seçilmiştir. Talaş kaldırma parametreleri yapılan ön deneyler esnasında, tırlama ve titreşim olmamasına ayrıca ilk işlemede takım ucunun kırılmamasına dikkat edilerek belirlenmiştir. MQL akış hızlarının belirlenmesinde literatürde yapılan araştırmalar, gerçekleştirilen ön deneyler ile MQL sisteminin kapasitesi belirleyici faktörler olmuş ve hızlar 20 ml/saat ve 40 ml/saat olarak seçilmiştir. Her deney için yeni bir çift takım ucu kullanılmış olup frezeleme parametreleri Çizelge 4.1’de görülmektedir.

Çizelge 4.1 Frezeleme parametreleri

Frezeleme şartları	kuru, MQL ve nanoakışkan MQL
Nano parçacıklar	nano grafen, MWCNT ve nano MoS ₂
Nano parçacık % oranları	Nano grafen ve nano MoS ₂ : ağırlıkça %0,5 - %1 - %2 MWCNT : ağırlıkça %0,1 - %0,15 - %0,2
MQL akış hızı	20 ml/saat ve 40 ml/saat
MQL basıncı	5 bar
Nozül açısı	10° (iş parçası yüzeyine paralel doğrultu ile)
Nozül mesafesi	50 mm
Nozül uç çapı	1 mm
Kesici takım	kaplamasız ve TiN kaplamalı WC
Kesme hızı	100 m/dak
İlerleme	0,18 mm/dev
Kesme derinliği	0,5 mm

Deneyler esnasında MQL sisteminden gelen kesme sıvısı Şekil 4.1’de görüldüğü gibi 2 nozülünden ortama gönderilmiş olup; nozüller kesici takımdan 50 mm uzaklığa yerleştirilmiş ve iş parçası yüzeyi ile 10° açı yapacak şekilde kesme sıvısı-basınçlı hava karışımı kesici takımın uç bölgesine gelecek şekilde konumlandırılmıştır. Ayrıca MQL sisteminin yağ haznesine basit bir mekanik karıştırıcı konulmuş ve nanoakışkan tüm işlem süresince sürekli karıştırılmıştır. Bu sayede, nanoakışkanın homojenliği korunmuş ve çökelme miktarının minimuma inmesi sağlanmıştır.

Deneyler esnasında sıcaklık ölçümleri Şekil 4.1’de görüldüğü gibi kesici takımın ucuna odaklanmış çift lazerli temassız sıcaklık ölçüm cihazı kullanılarak yapılmış ve alınan sıcaklık değerleri 1 ms aralıklarla bilgisayara aktarmıştır. Sıcaklık ölçüm cihazı, iş milinin yatakladığı kolona manyetik ayakla bağlanmış, manyetik ayağın kollarının uygun pozisyona ayarlanmasıyla kesici takım ucuna odaklanmıştır.



Şekil 4.1 MQL sisteminde kullanılan nozüllerin ve temassız sıcaklık ölçüm cihazının konumları

Kesici takımlardaki serbest yüzey aşınmalarının belirlenmesi için her bir çift takım 6,7 dakika frezelenmiştir. Serbest yüzey aşınmalarının belirlenmesi amacıyla trinoküler mikroskop kullanılarak 40 saniye aralıklarla ve 5 farklı ölçüm yapılmıştır. Ölçümlerin aritmetik ortalamasının alınmasıyla serbest yüzey aşınmaları belirlenmiştir.

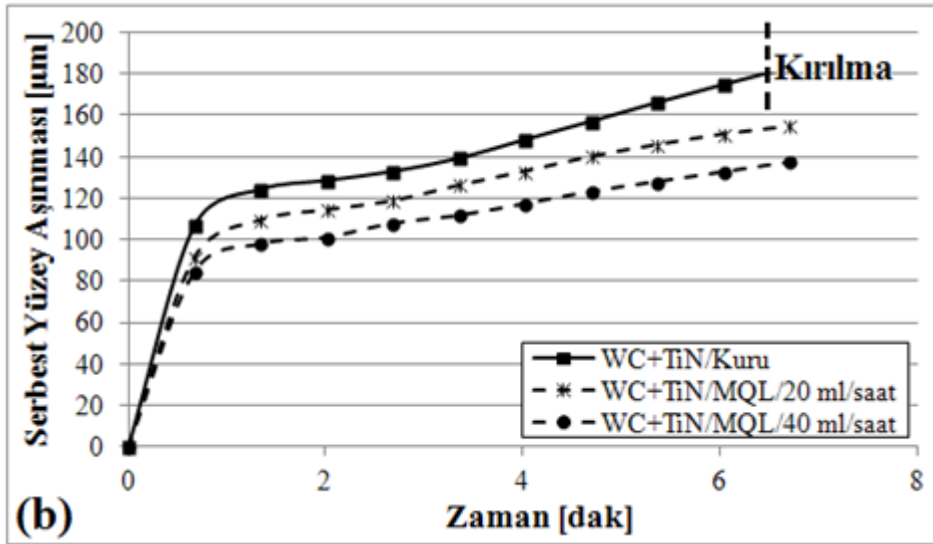
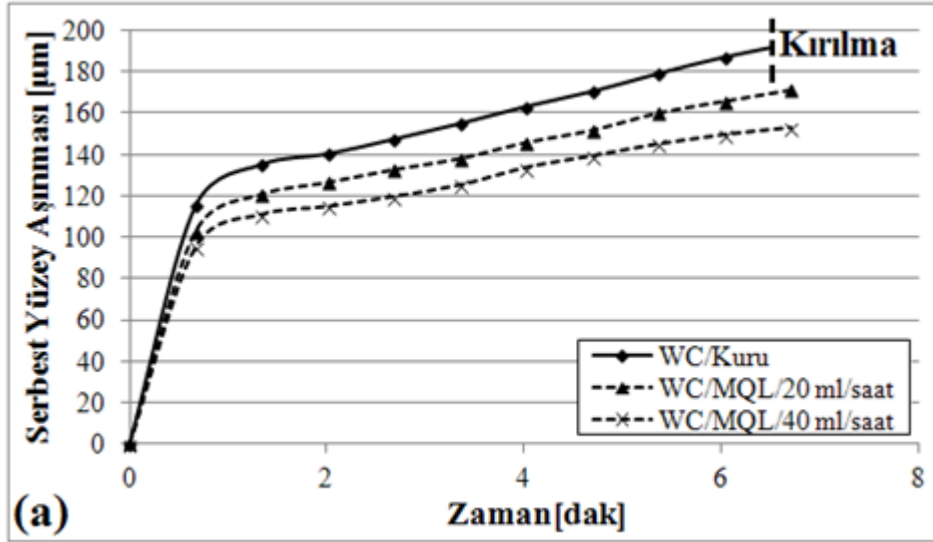
Gerçekleştirilen ön deneylerde kesici takımların uçlarının yaklaşık 6 dakika kuru frezeleme sonrasında kırıldığı görülmüştür. Bu sebeple, toplam frezeleme süresi 6,7

dakika olarak belirlenmiştir. Kesici takımların serbest yüzeylerinin SEM görüntüleri toplam frezeleme süresi sonunda çekilmiştir. Ayrıca çapak resimleri stereo mikroskop kullanılarak çekilmiştir. Frezelenmiş her kanal üzerinden, ölçüm uzunluğu 0,8 mm olacak şekilde 5 farklı noktadan yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçülmüş ve her bir kanal için yüzey pürüzlülüğü değerleri ölçümlerin aritmetik ortalamaları alınarak hesaplanmıştır.

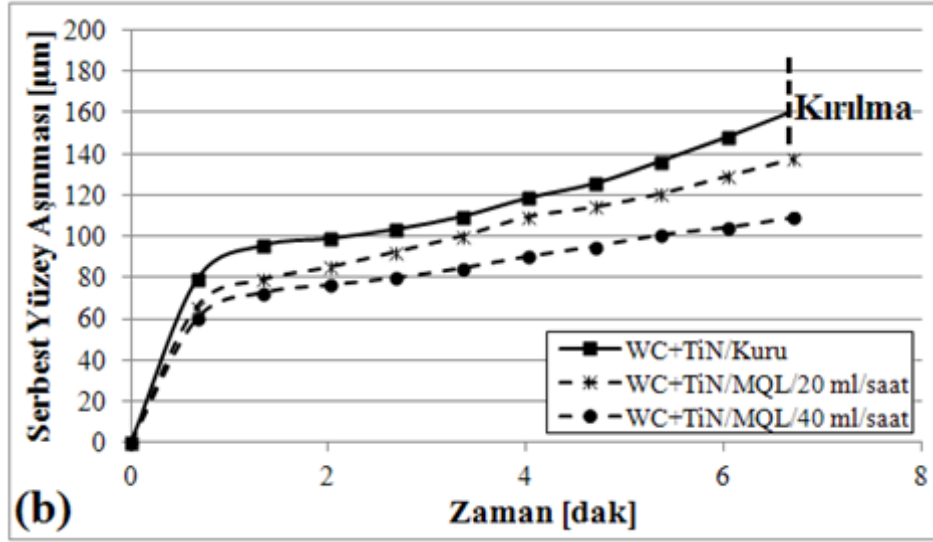
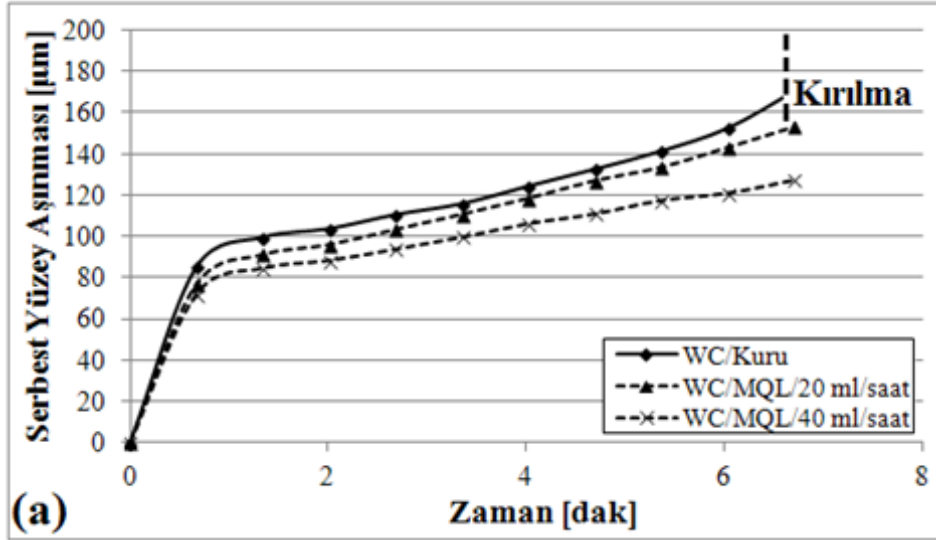
4.1 Nanoakışkan MQL Yönteminin Takım Aşınmasına Etkileri

Deneysel çalışmalar sonucunda seçilen kesme parametrelerinde östenitik ve martenzitik paslanmaz çeliklerin kuru işlenmesinde hem kaplamasız hem de TiN kaplamalı kesici takımlarda yaklaşık 6 dakika frezelemeden sonra kesici takımlarda kırılma olduğu görüldü. (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3). Buna karşın MQL yönteminin kullanılmasıyla ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımının yağlama, soğutma ve talaşı uzaklaştırma gibi etkileriyle serbest yüzey aşınma değerlerinin azaldığı ve hatta kırılma oluşmadığı görülmüştür. (Şekil 4.2 ve Şekil 4.3).

Maksimum serbest yüzey aşınma değerleri her iki malzeme için kuru işlemede gözlemlenmiştir. MQL yönteminin kullanımı serbest yüzey aşınma değerlerini azaltmıştır. MQL akış hızını arttırılmasıyla ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışım arttığı için serbest yüzey aşınmalarında da azalmalar görülmüştür. Kaplamalı takımlarda TiN kaplamanın sahip olduğu yüksek sertlik ve aşınma direncinden dolayı kaplamsız takımlara göre daha az serbest yüzey aşınması olduğu görülmüştür. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliği daha sünek yapıya sahip olmasından dolayı AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğine göre talaşlı işlenmesinde takım ucunda daha yüksek serbest yüzey aşınma değerleri oluşturmuştur.

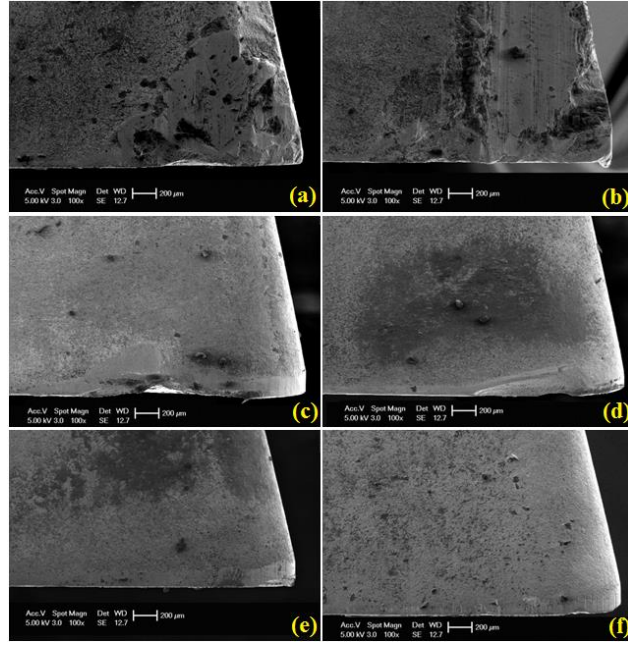


Şekil 4.2 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin MQL yöntemi ile frezelenmesinde serbest yüzey aşınması a) WC, b) WC+TiN

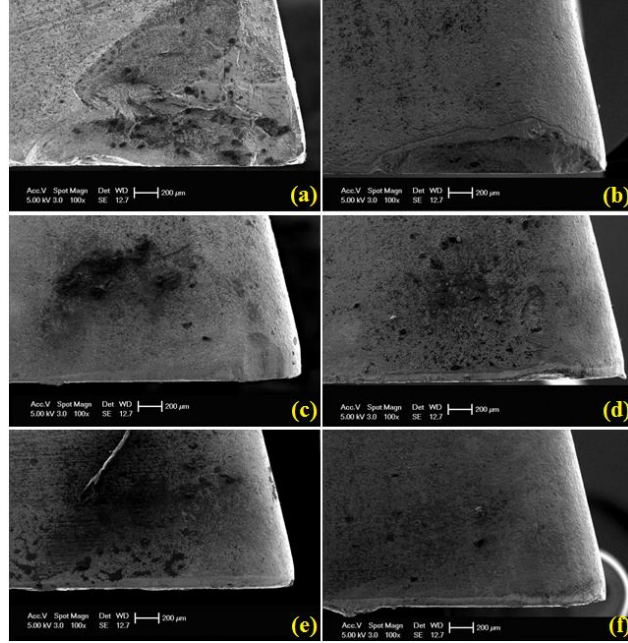


Şekil 4.3 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin MQL yöntemi ile frezelenmesinde serbest yüzey aşınması a) WC, b) WC+TiN

Toplam frezeleme süresi (6,7 dakika) sonunda kuru ve saf bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi ile elde edilen serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de incelendiğinde, her iki paslanmaz çelik malzemenin kuru frezelenmesinde de kesici takıma iş parçasının yapışmasından kaynaklanan kopmalar gözlemlenmiştir. Takımlar incelendiğinde hem kaplamasız hem de TiN kaplamalı WC kesici takımlarda kopmalar olduğu, Şekil 4.4 ve Şekil 4.5’de kaplamasız WC kesici takımlardaki kopmaların daha büyük olduğu görülmektedir. MQL yöntemi kullanımı ile kopmalarda azalmalar görülmüş ve hatta MQL akış hızını 40 ml/saate çıkarılmasıyla kesici takımlarda kopma gözlemlenmemiştir.

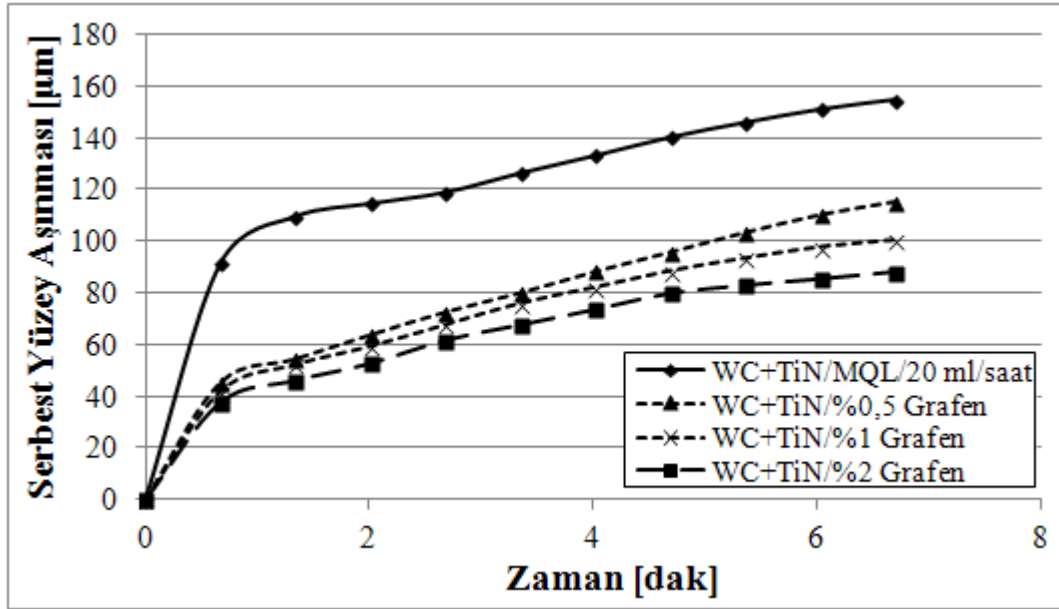


Şekil 4.4 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. MQL yöntemi ile frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) WC, b) WC+TiN, c) WC ve 20 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, e) WC ve 40 ml/saat MQL, f) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL

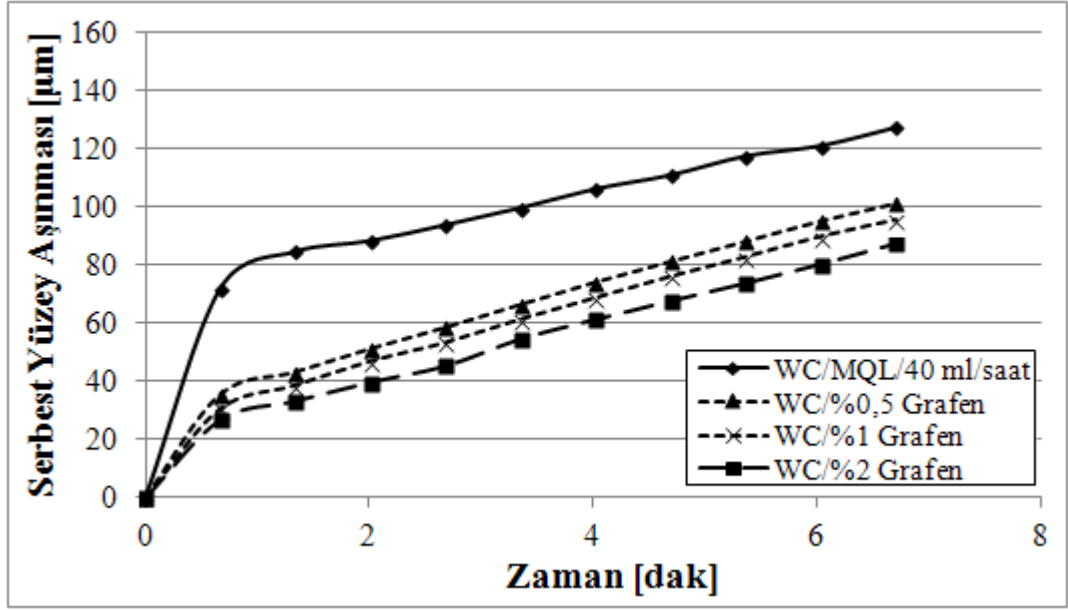


Şekil 4.5 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. MQL yöntemi ile frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) WC, b) WC+TiN, c) WC ve 20 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, e) WC ve 40 ml/saat MQL, f) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL

Frezeleme işleminde nano grafen katkıli bitkisel kesme sıvısının MQL yönteminde kullanılması ile serbest yüzey aşınmalara etkileri her iki paslanmaz çelik içinde Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve EK-A'da verilmiştir. Hem kaplamasız WC hem de TiN kaplamalı WC kesici takımlarda nano grafen katkısının yağlayıcılık ve soğutma etkileri sebebiyle saf ticari bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı MQL yöntemine göre daha az serbest yüzey aşınma değerleri oluşturduğu görülmüştür. MQL akış hızının ve nano grafen katkı miktarının artırılmasıyla, serbest yüzey aşınma miktarları azalmaktadır (Şekil 4.6, Şekil 4.7 ve EK-A). Minimum serbest yüzey aşınma değerleri en yüksek katkıli oranı ile nano grafen katkıli bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı TiN kaplamalı WC kesici takımlar ile elde edilmiştir.

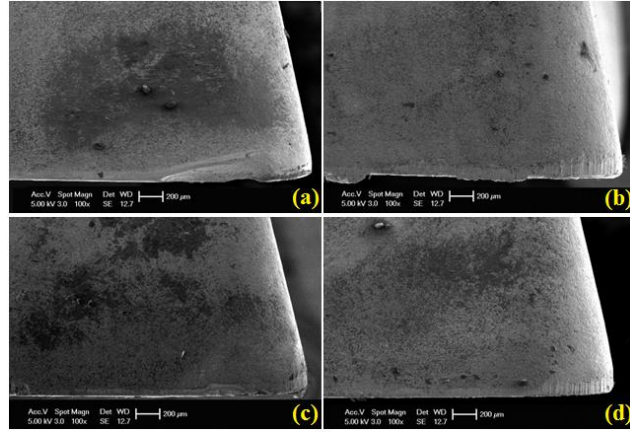


Şekil 4.6 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması

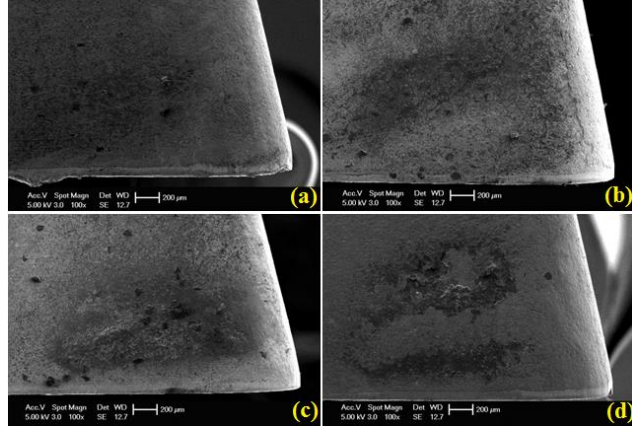


Şekil 4.7 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması

Şekil 4.8 ve Şekil 4.9'daki SEM görüntüleri incelendiğinde nano grafen katkısının artırılmasıyla serbest yüzey aşınma değerlerinde saf ticari bitkisel kesme sıvısı kullanıldığı duruma göre azalma olduğu ve daha düzgün serbest yüzey aşınmalarının olduğu görülmüştür.

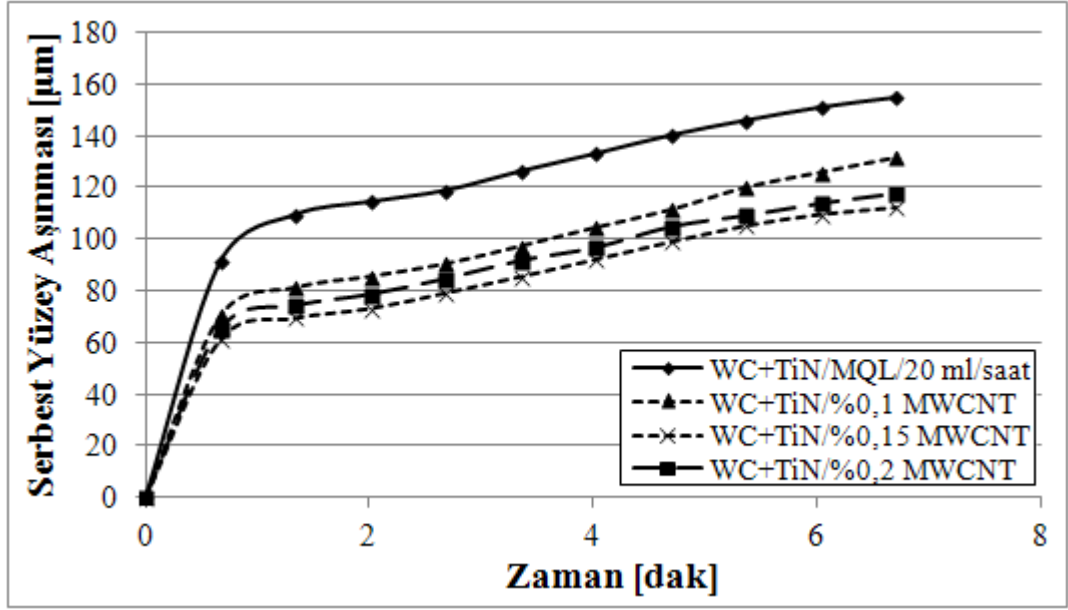


Şekil 4.8 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC+TiN kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,5 nano grafen, c) %1 nano grafen, d) %2 nano grafen

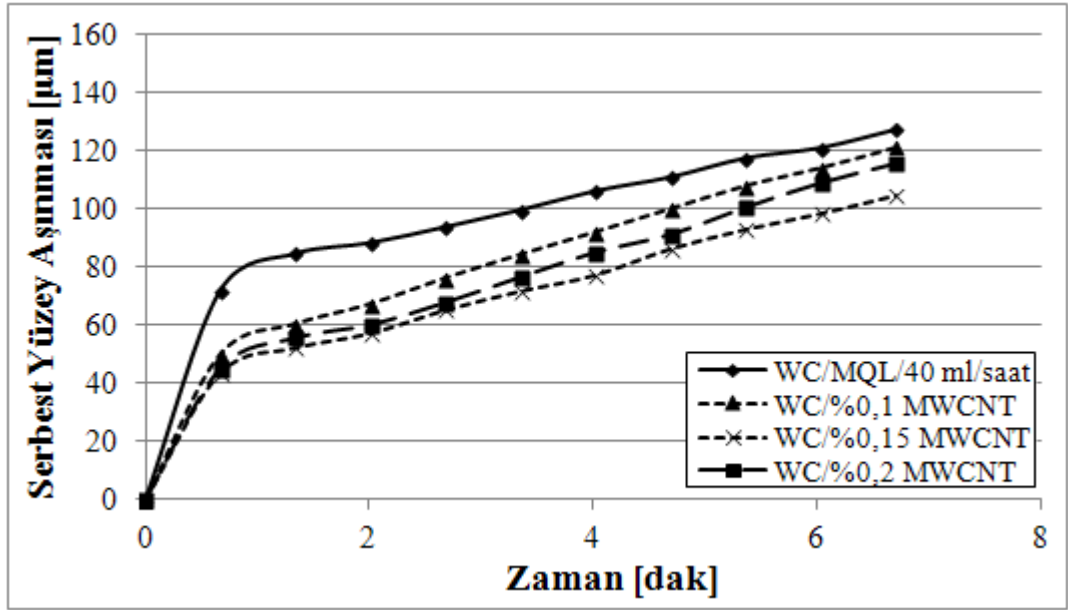


Şekil 4.9 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC+TiN kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,5 nano grafen, c) %1 nano grafen, d) %2 nano grafen

Frezeleme işleminde MWCNT katkıli bitkisel kesme sıvısının MQL yönteminde kullanılması ile serbest yüzey aşınmalarına etkileri her iki paslanmaz çelik için Şekil 4.10, Şekil 4.11 ve EK-A'da verilmiştir. Hem kaplamasız WC, hem de TiN kaplamalı WC kesici takımlarda MWCNT katkısının yağlayıcılık ve yüksek ısıl iletkenliği sebebiyle saf ticari bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı MQL yöntemine göre daha az serbest yüzey aşınma değerleri oluşturduğu görülmüştür. MQL akış hızının ve MWCNT katkı miktarının artırılmasıyla, serbest yüzey aşınma miktarları azalmaktadır fakat, MWCNT katkı miktarının artırılması kesme sıvısının viskozitesini arttırmakta bu artışta MQL sisteminin verimi azalmaktadır. Bu nedenle %0,2 MWCNT katkıli bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı durumda serbest yüzey aşınma miktarı azalmak yerine bir miktar artmaktadır.



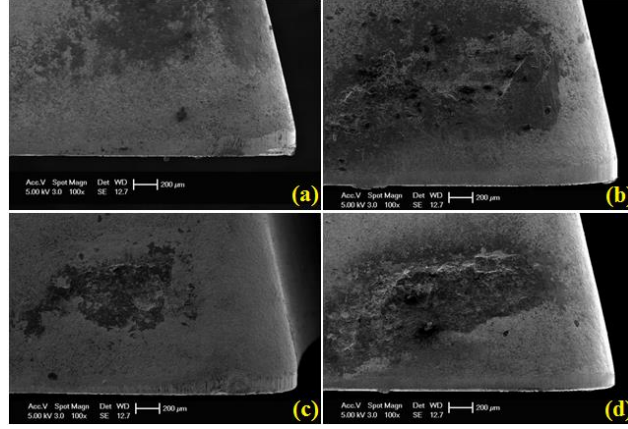
Şekil 4.10 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



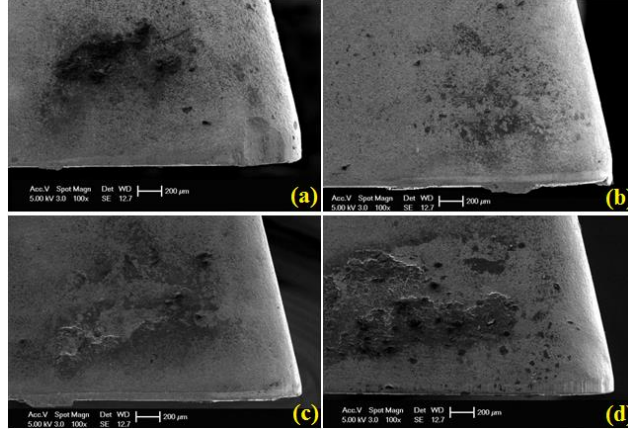
Şekil 4.11 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması

Şekil 4.12 ve Şekil 4.13'deki SEM görüntüleri incelendiğinde MWCNT katkısının artırılmasıyla serbest yüzey aşınma değerlerinde saf ticari bitkisel kesme sıvısı kullanıldığı duruma göre azalma olduğu görülmektedir. %0,2 MWCNT katkısı MQL

verimini düşürmesi sebebiyle en iyi değerler %0,15 MWCNT katkıli kesme sıvısının kullanıldığı durumda elde edilmiştir.



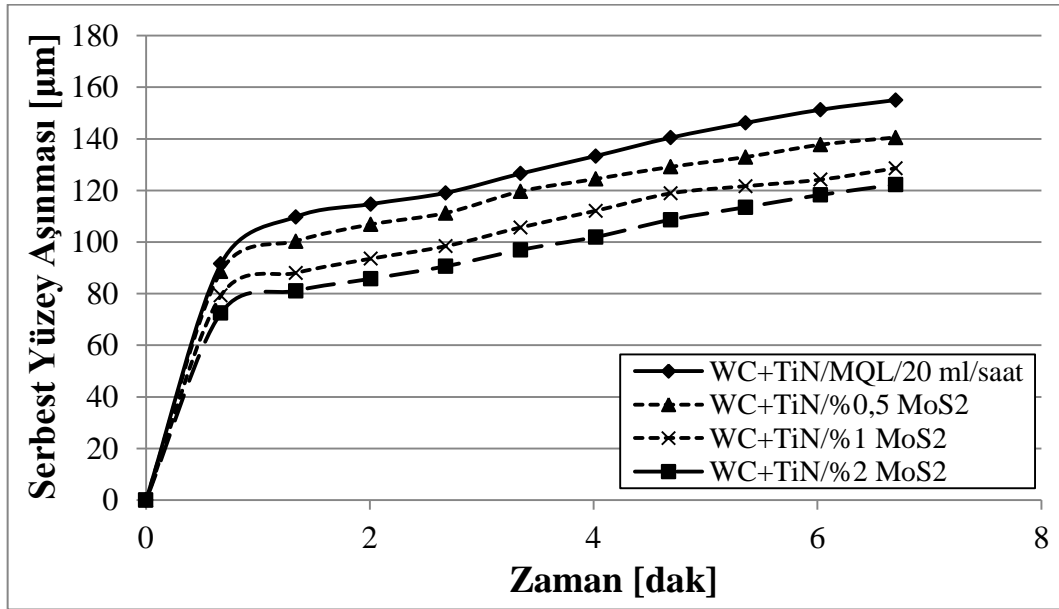
Şekil 4.12 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,1 MWCNT, c) %0,15 MWCNT, d) %0,2 MWCNT



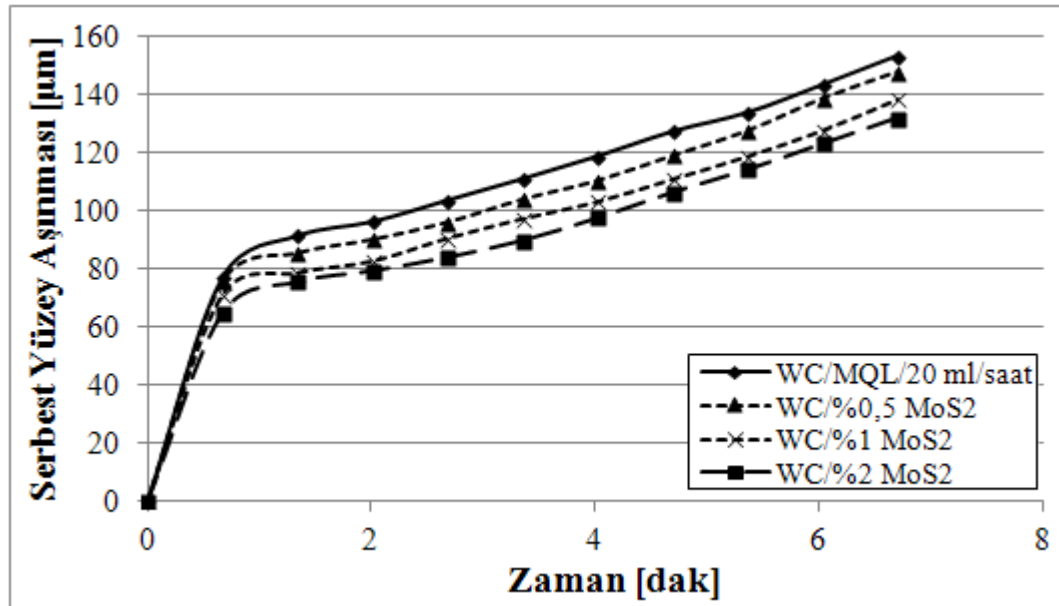
Şekil 4.13 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,1 MWCNT, c) %0,15 MWCNT, d) %0,2 MWCNT

Uygulanan frezeleme işleminde nano MoS₂ katkıli bitkisel kesme sıvısının MQL yönteminde kullanılması ile serbest yüzey aşınmalarına etkileri her iki paslanmaz çelik için Şekil 4.14, Şekil 4.15 ve EK-A'da verilmiştir. Hem kaplamasız WC hem de TiN kaplamalı WC kesici takımlarda nano MoS₂ katkısının yağlayıcılık özelliklerinden dolayı saf ticari bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı MQL yöntemine göre daha az serbest yüzey aşınma değerleri oluşturduğu görülmüştür. Nano MoS₂ katkı miktarının artırılmasıyla, serbest yüzey aşınma miktarları azalmaktadır. Ticari bitkisel kesme sıvısına katılan nano

MoS₂ parçacıklar, ısı iletkenlikleri çok yüksek olmamasına rağmen, iyi yağlayıcılık özelliklerinden dolayı ve kesme sıvısının viskozite değerini çok fazla arttırmadığından kesici takım-iş parçası arasına iyi pulverize olmakta, bu sebeple serbest yüzey aşınma değerlerinde azalma sağlanmaktadır.

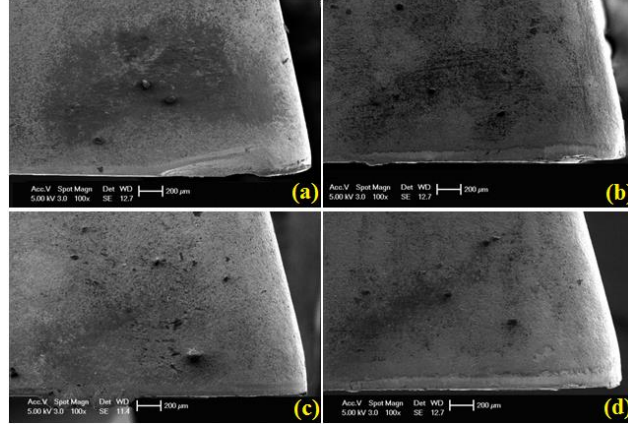


Şekil 4.14 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MoS₂ katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması

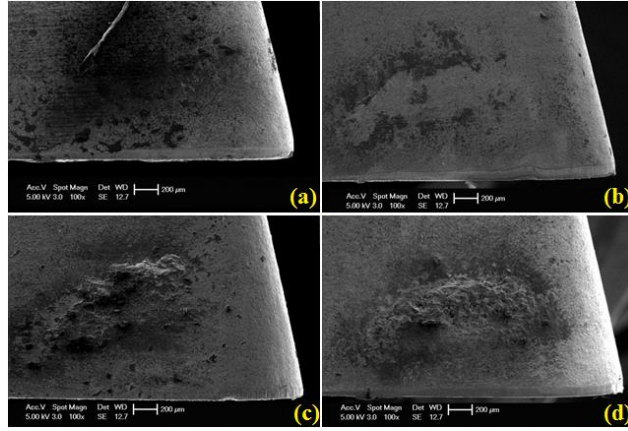


Şekil 4.15 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MoS₂ katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması

Her iki paslanmaz çeliğe ait Şekil 4.16 ve Şekil 4.17'deki SEM görüntüleri incelendiğinde, nano MoS₂ katkısının artırılmasıyla serbest yüzey aşınma değerlerinde saf ticari bitkisel kesme sıvısı kullanıldığı duruma göre azalma olduğu ve daha düzgün serbest yüzey aşınmalarının elde edildiği görülmektedir.

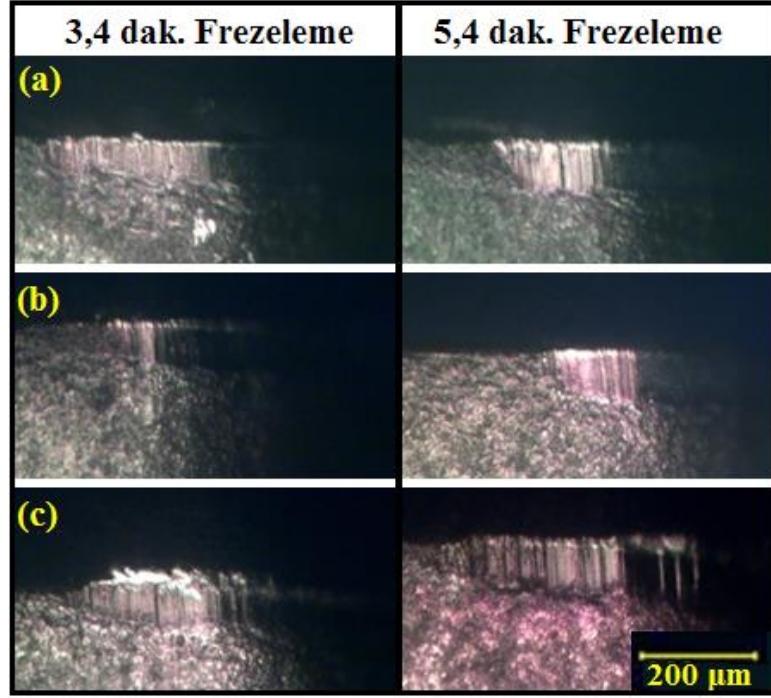


Şekil 4.16 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC+TiN kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano MoS₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,5 nano MoS₂, c) %1 nano MoS₂, d) %2 nano MoS₂

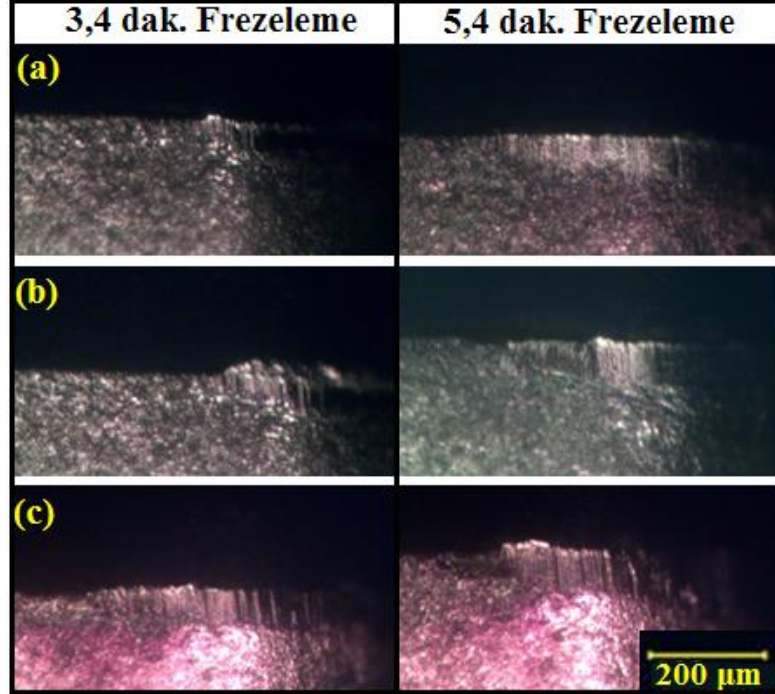


Şekil 4.17 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 6,7 dak. WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano MoS₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinden sonra serbest yüzey aşınmalarının SEM görüntüleri, a) saf kesme sıvısı, b) %0,5 nano MoS₂, c) %1 nano MoS₂, d) %2 nano MoS₂

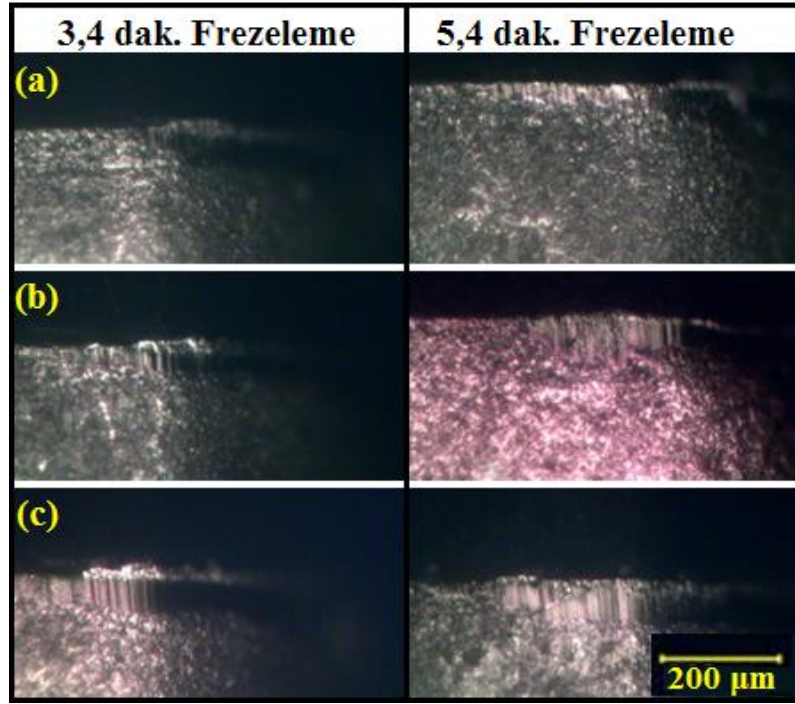
Şekil 4.18, Şekil 4.19, Şekil 4.20, Şekil 4.21’de her iki paslanmaz çelik malzeme içinde hem kaplamasız hem de TiN kaplamalı WC kesici takımlarla 3,4 dakika ve 5,4 dakika nanoakışkan kullanılarak MQL yöntemiyle frezelenmesi sonucunda elde edilen serbest yüzey aşınma görüntüleri görülmektedir. Görüntüler incelendiğinde en az ve düzgün serbest yüzey aşınmalarının nano grafen parçacık katkılı kesme sıvısının kullanıldığı durumda elde edildiği görülmüştür. Bunun nedeninin ise, nano grafen parçacıkların iyi yağlayıcılık ve yüksek ısıl iletkenlik özellikleri ile katıldığı bitkisel kesme sıvısının viskozite değerini çok fazla arttırmaması olduğu görülmüştür. MWCNT parçacıkları da iyi yağlayıcılık ve yüksek ısıl iletkenlik özelliklerine sahiptir fakat yapılan katkılar kesme sıvısının viskozitesini 2 kata yakın arttırmaktadır. Artan viskozite sebebiyle MQL sistemi ile ortama gönderilen nanoakışkan havada daha fazla asılı kalmakta ve ortama nüfuziyeti azalmaktadır. MWCNT katkılı kesme sıvısının çökme eğilimi diğer nanoakışkanlara göre fazla olmakta ve katkı oranı arttıkça çökme eğilimi artmaktadır. Bu gibi sebeplerin, MWCNT katkılı kesme sıvısının, nano grafen katkılı kesme sıvısı kadar performans gösterememesinin nedeni olduğu düşünülmektedir. Nano MoS₂ katkılı bitkisel kesme sıvısı diğer parçacıklara göre ısıl iletkenliği en düşük ancak yağlayıcılık özelliği yüksek olan kesme sıvısı olması sebebiyle, serbest yüzey aşınma değerlerinin azaltılmasında en az etkiyi göstermiştir. Buna rağmen kesme sıvısının viskozite değerini en az oranda arttırdığından dolayı özellikle viskozite değerinin çok fazla arttığı ve çökme eğiliminin en fazla olduğu %0,2 MWCNT katkılı kesme sıvısına yakın etkiler göstermiştir.



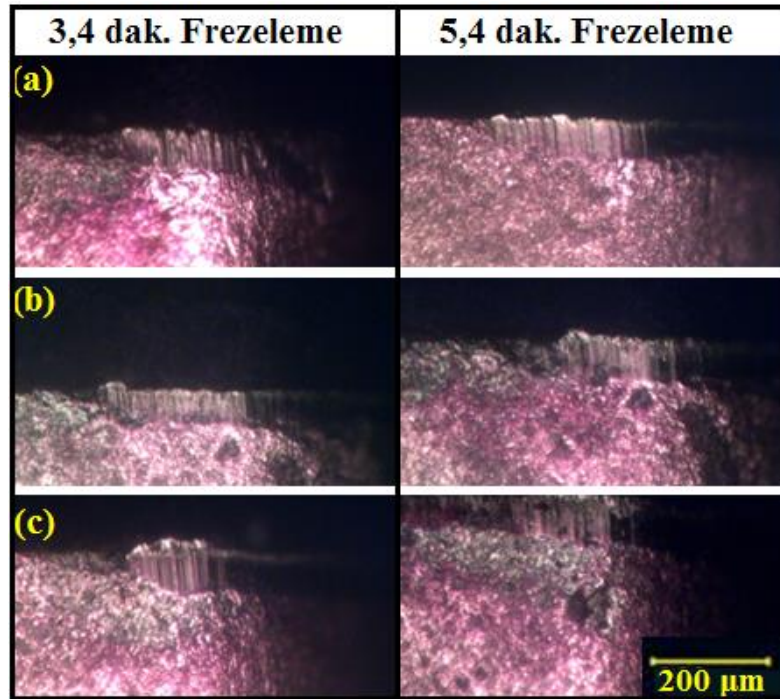
Şekil 4.18 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile nanoakışkan kullanılarak 20 ml/saat MQL akış hızında frezelenmesinde serbest yüzey aşınmasının nano parçacık türüne göre değişimi, a) %1 nano grafen, b) %0,15 MWCNT, c) %1 nano MoS₂



Şekil 4.19 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC+TiN kesici takım ile nanoakışkan kullanılarak 40 ml/saat MQL akış hızında frezelenmesinde serbest yüzey aşınmasının nano parçacık türüne göre değişimi, a) %2 nano grafen, b) %0,2 MWCNT, c) %2 nano MoS₂



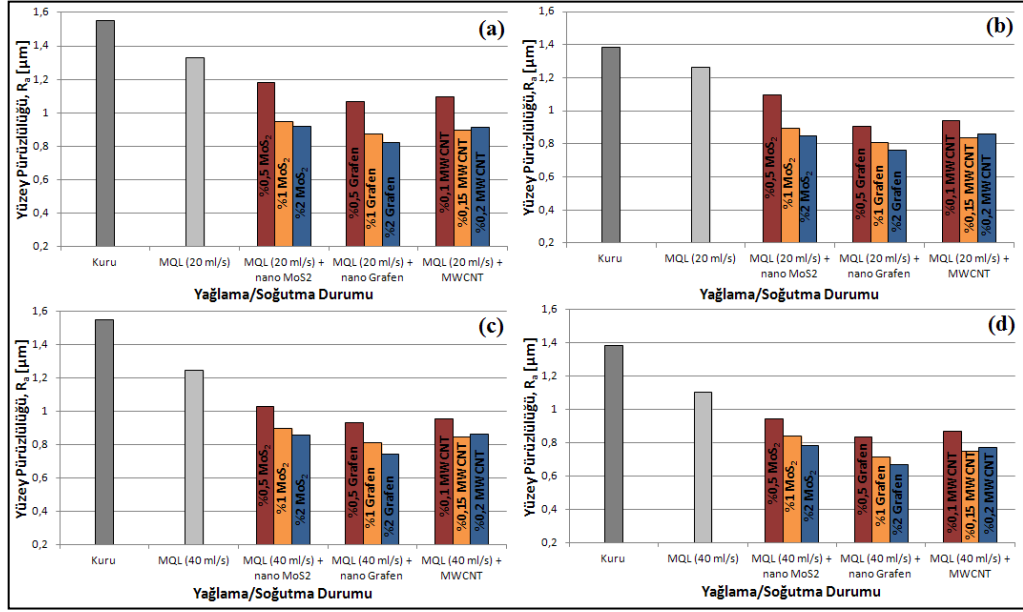
Şekil 4.20 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile nanoakışkan kullanılarak 40 ml/saat MQL akış hızında frezelenmesinde serbest yüzey aşınmasının nano parçacık türüne göre değişimi, a) %1 nano grafen, b) %0,15 MWCNT, c) %1 nano MoS₂



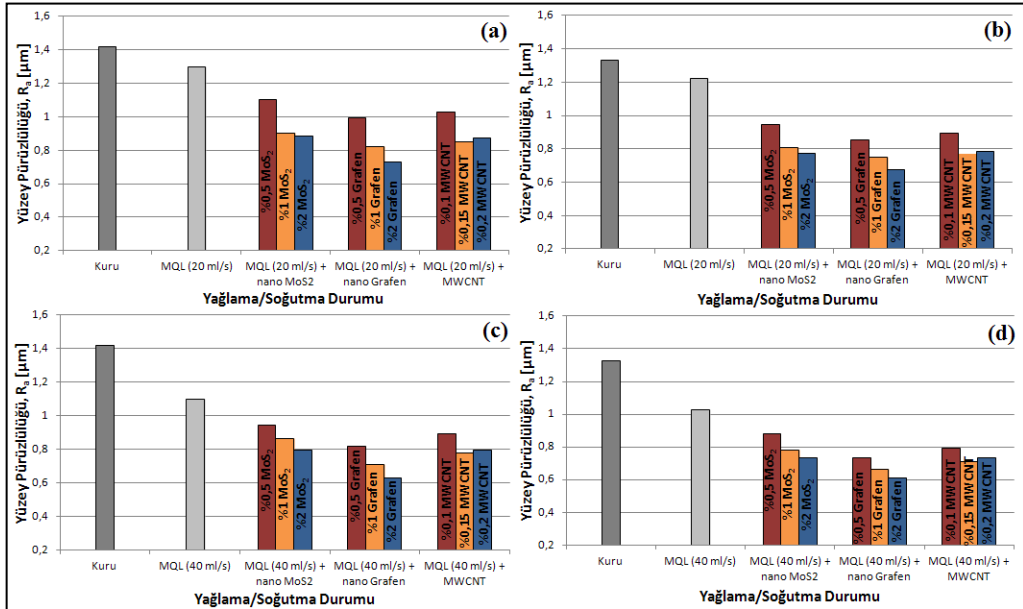
Şekil 4.21 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC+TiN kesici takım ile nanoakışkan kullanılarak 20 ml/saat MQL akış hızında frezelenmesinde serbest yüzey aşınmasının nano parçacık türüne göre değişimi, a) %0,5 nano grafen, b) %0,1 MWCNT, c) %0,5 nano MoS₂

4.2 Nanoakışkan MQL Yönteminin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri

Paslanmaz çelik malzemelerin, kuru, saf ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL ve nanoakışkan kullanılan MQL şartlarında frezelenmesi sonrası elde edilen aritmetik ortalama yüzey pürüzlülükleri (R_a) Şekil 4.22 ve Şekil 4.23’de verilmektedir.



Şekil 4.22 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, a) WC ve 20 ml/saat MQL, b) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, c) WC ve 40 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL



Şekil 4.23 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminin yüzey pürüzlülüğüne etkisi, a) WC ve 20 ml/saat MQL, b) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, c) WC ve 40 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL

Maksimum yüzey pürüzlülüğü değerleri her iki malzeme için de kuru işlemede gözlemlenmiştir. Buna karşın hem östenitik hem de martenzitik paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde MQL yönteminin kullanılmasıyla nano parçacıkların yağlayıcılık ve yüksek ısıl iletkenlikleri sebebiyle yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı görülmüştür (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23). Nano parçacık miktarının arttırılmasıyla yüzey pürüzlülükleri azalmaktadır fakat bu durum MWCNT parçacık katkılı bitkisel kesme sıvısında geçerli olmamaktadır. MWCNT katkı oranının %0,15'den %0,2'ye çıkarıldığı durumda; artan viskozite değeri ve gözlemlenen çökme eğiliminden dolayı yüzey pürüzlülüğü değerlerinde bir miktar artış gözlemlenmektedir. %0,2 oranında ölçülen pürüzlülük değeri, %0,1 oranında ölçülen değerden yine de daha az olmaktadır.

Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de verilen yüzey pürüzlülük karşılaştırma grafikleri incelendiğinde, en düşük yüzey pürüzlülük değerlerinin nano grafen katkılı bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi ile elde edildiği görülmektedir.

MQL akış hızının arttırılmasıyla ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımı arttığı için yüzey pürüzlülüğünde azalmalar görülmüştür (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23). Ayrıca, nano parçacık katkı oranının arttırılmasıyla viskozite bir miktar artmakta ama yine de yüksek MQL akış hızlarında daha düşük yüzey pürüzlülükleri oluşmaktadır. Sonuç olarak her iki paslanmaz çelik malzemenin frezelenmesinde MQL akış hızı arttıkça daha kaliteli yüzeyler elde edilmiştir.

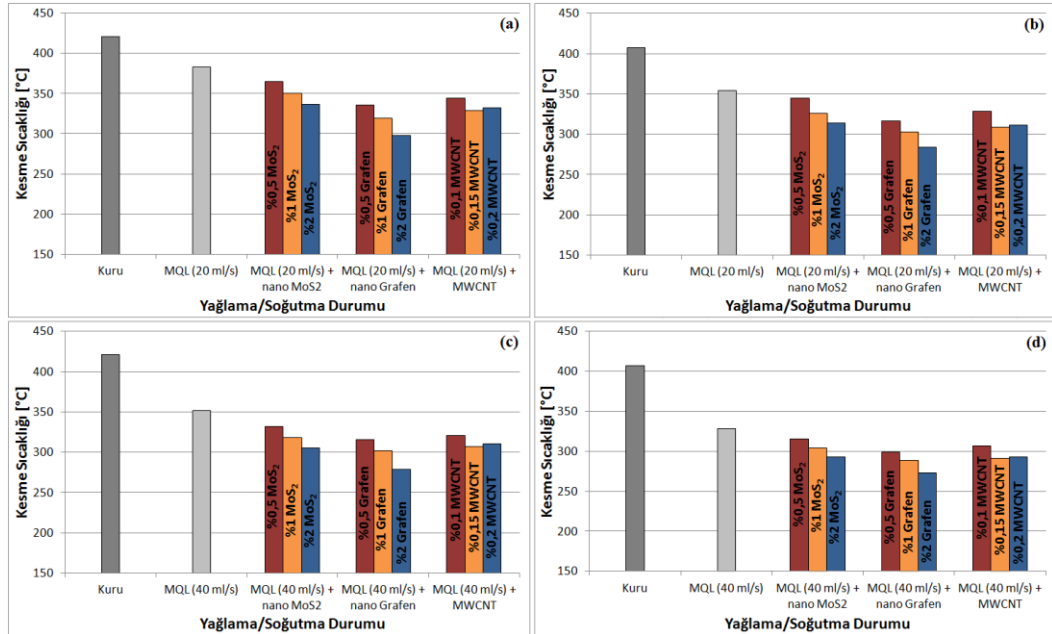
MQL yöntemi kullanılarak paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde kaplamalı takımlarda TiN kaplamanın sahip olduğu yüksek sertlik ve aşınma direncinden dolayı kaplamasız takımlara göre yüzey pürüzlülüğü değerlerinin daha az olduğu Şekil 4.22 ve Şekil 4.23'de görülmektedir. Nano parçacık katkı oranının arttırılmasıyla yüzey pürüzlülüğünde bir miktar azalma görülmüştür. Bunun sebebi ise artan nano parçacık miktarı ile birlikte nano parçacıkların soğutma ve yağlama etkinliğinin artmasıdır. Artan soğutma ve yağlama etkisiyle kaplamasız ve TiN kaplamalı kesici takımlar ile elde edilen yüzey pürüzlülük değerleri arasındaki fark azalarak birbirine yaklaşmaktadır.

AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sünek yapısından dolayı oluşan sıcaklıktan daha fazla etkilendiği bunun sonucunda da AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğine göre daha yüksek yüzey pürüzlülükleri oluşturduğu görülmektedir (Şekil 4.22 ve Şekil 4.23).

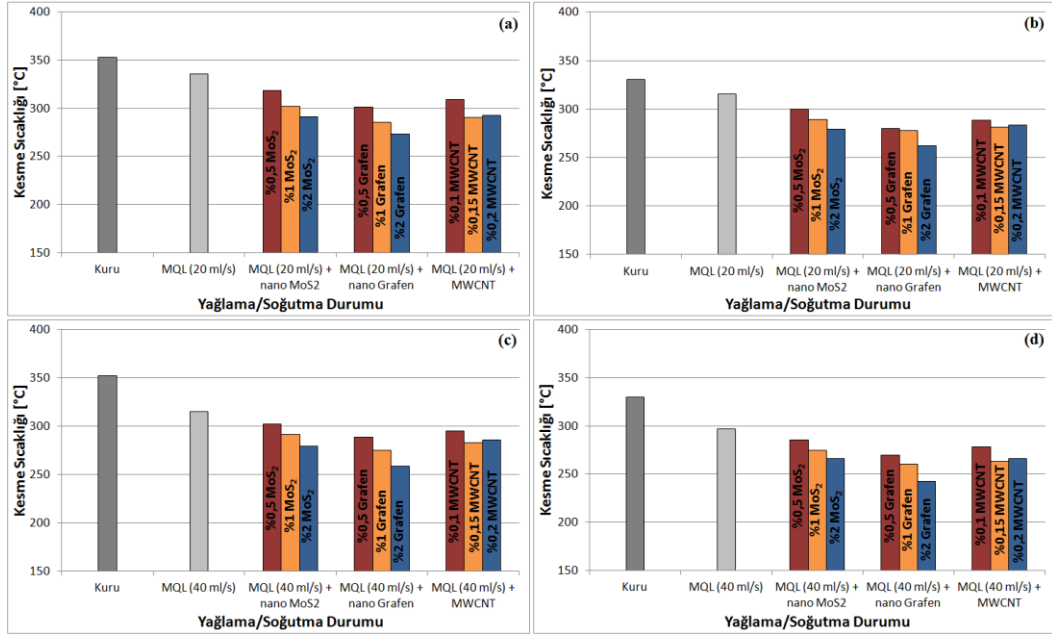
4.3 Nanoakışkan MQL Yönteminin Kesme Sıcaklığına Etkileri

AISI 304 östenitik ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzemelerin kuru, ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi ve nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi ile frezelenmesinde oluşan kesme sıcaklığının değişimi Şekil 4.24 ve Şekil 4.25’de verilmektedir.

Maksimum kesme sıcaklıkları her iki malzeme için kuru işlemede elde edilmiştir. MQL yönteminin kullanımı ile ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımı kesme sıcaklıklarının azalmasında neden olmuştur. Nano parçacıklarında etkisiyle nanoakışkan MQL kullanımıyla kesme sıcaklıkları daha da düşüş göstermiştir. En yüksek ısı iletkenliğe sahip nano grafen kullanılmasıyla her iki malzeme için en düşük kesme sıcaklıkları elde edilmiştir. Nano MoS₂ parçacıkları grafen ve MWCNT parçacıkları kadar ısı iletkenlikleri yüksek olmadığı için onlar kadar etkinlik gösterememiş fakat nano MoS₂ parçacıkların yağlayıcılık özelliklerinden dolayı saf bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı MQL yöntemine göre avantaj sağlamışlardır. Nano parçacık katkı oranlarının artırılması sıcaklıkların düşmesini sağlamıştır. Fakat MWCNT katkı oranının %0,15’den %0,2’ye çıkartılması, artan viskozite değeri ve gözlemlenen çökeltme eğiliminden dolayı sıcaklık değerlerinde bir miktar artışa sebep olmuştur.



Şekil 4.24 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminin kesme sıcaklığına etkisi, a) WC ve 20 ml/saat MQL, b) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, c) WC ve 40 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL



Şekil 4.25 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminin kesme sıcaklığına etkisi, a) WC ve 20 ml/saat MQL, b) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, c) WC ve 40 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL

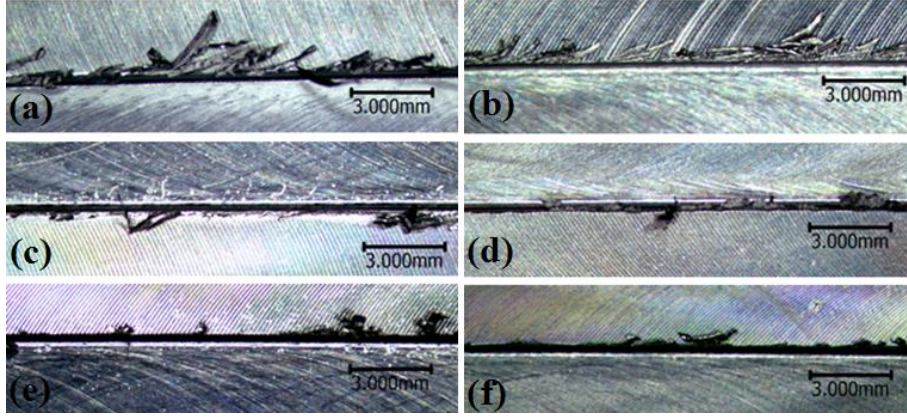
MQL akış hızının artırılmasıyla ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımını arttırdığı ve bu sayede fazla ısı transferi gerçekleştiği için kesme sıcaklıklarında azalmalar görülmüştür (Şekil 4.24 ve Şekil 4.25). Ayrıca, nano parçacık katkı oranının artmasıyla artan ısı transferinin de etkisiyle kesme sıcaklıkları daha da düşmektedir. Bu durum özellikle saf bitkisel kesme sıvısına göre oldukça avantaj sağlamaktadır.

Her iki paslanmaz çelik malzemenin MQL yöntemi ile hem kaplamasız hem de TiN kaplamalı WC kesici takımlar kullanılarak frezelenmesinde, kesme sıcaklıklarının TiN kaplamalı WC kesici takımların kullanıldığı durumda daha az olduğu Şekil 4.24 ve Şekil 4.25'de görülmektedir. Martenzitik paslanmaz çelik malzemeye göre östenitik paslanmaz çelik malzemenin daha sünek yapıya sahip olması sebebiyle frezeleme esnasında daha yüksek kesme sıcaklıkları elde edilmiştir.

4.4 Nanoakışkan MQL Yönteminin Çapaklara Etkisi

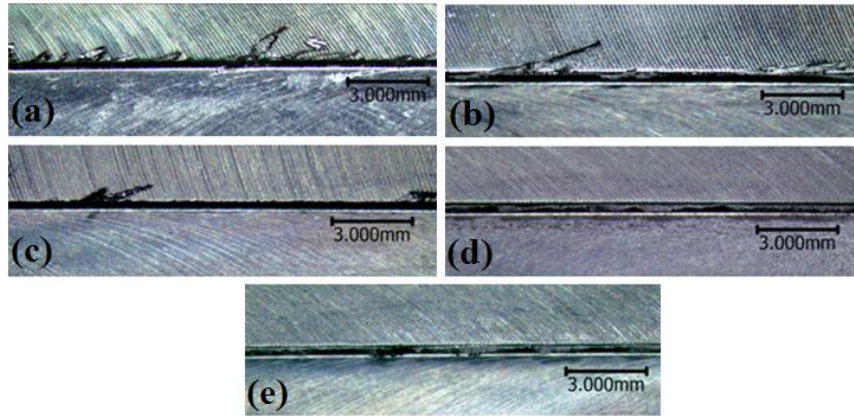
Paslanmaz çelik malzemelerin kuru ve saf bitkisel kesme sıvısı kullanılan MQL yöntemi ile kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımlar kullanılarak frezelenmesi sonucu oluşan çapaklar Şekil 4.26'da görülmektedir. TiN kaplamalı WC kesici takım kullanılmasıyla daha az ve daha kısa çapakların oluştuğu görülmüştür. MQL yönteminin

kullanılmasıyla çapak miktarlarında azalmalar görülürken, MQL akış hızının artırılması hem çapak miktarını hem de çapak boyutlarını önemli ölçüde azaltmıştır.



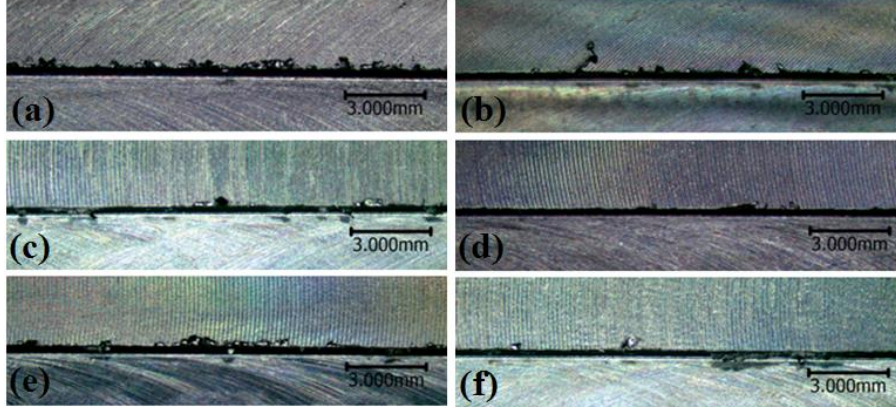
Şekil 4.26 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde çapak oluşumunun MQL yöntemi kullanılmasıyla değişimi, a) WC ve kuru, b) WC+TiN ve kuru, c) WC ve 20 ml/saat MQL, d) WC+TiN ve 20 ml/saat MQL, e) WC ve 40 ml/saat MQL, f) WC+TiN ve 40 ml/saat MQL

Paslanmaz çeliğin frezelenmesinde nanoakışkan MQL yönteminde kullanılan, nano parçacık türünün çapak oluşuma etkileri Şekil 4.27’de görülmektedir. Nano parçacıkların kullanıldığı MQL yöntemi saf ticari kesme sıvısına göre daha üstün yağlayıcılık ve ısıl iletkenlik özelliklerinden dolayı daha küçük çapaklar oluşmuştur. En iyi etkinlik gösteren kesme sıvısı ise nano grafen katkılı kesme sıvısı ile elde edilmiştir.



Şekil 4.27 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin nanoakışkan MQL yöntemi ile 40 ml/saat MQL akış hızında WC kesici takım kullanılarak frezelenmesinde nano parçacık türünün çapak oluşumuna etkisi, a) kuru, b) MQL, c) %1 nano MoS₂, d) %1 nano grafen, e) %0,15 MWCNT

Nano parçacık katkı oranının artırılması ortamdan daha fazla ısı uzaklaştırıp, yağlayıcılık etkisini daha da arttırdığı için daha az ve daha küçük boyutta çapak oluştuğu Şekil 4.28’de görülmektedir.



Şekil 4.28 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin nanoakışkan MQL yöntemi ile 20 ml/saat MQL akış hızında WC+ TiN kesici takım kullanılarak frezelenmesinde nano parçacık oranının çapak oluşumuna etkisi, a) %0,5 nano MoS₂, b) %2 nano MoS₂, c) %0,5 nano grafen, d) %2 nano grafen, e) %0,1 MWCNT, f) %0,2 MWCNT

SONUÇ VE ÖNERİLER

Bu çalışmada; AISI 304 östenitik ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çelik malzemeler kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımlarla nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi uygulanarak frezelenmiştir. Ticari bitkisel kesme sıvısına katılan farklı katkı oranlarında nano grafen, MWCNT ve nano MoS₂ parçacıklar sayesinde kesme sıvısının ısı iletkenliği ve yağlama özelliği arttırılmıştır. Nano parçacık türü, katkı oranı ve MQL akış hızının östenitik ve martenzitik paslanmaz çelik malzemelerin işlenebilmesine etkileri incelenmiştir. Deneyler kuru kesme ve MQL yöntemiyle katkısız ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılarak tekrarlanmıştır.

Çalışmalar sonucunda elde edilen viskozite değerleri, serbest yüzey aşınmaları, yüzey pürüzlülükleri, kesme sıcaklıkları ve oluşan çapaklar incelenmiş ve aşağıdaki sonuçlar elde edilmiştir.

- Kullanılacak kesme sıvılarının nano parçacık katkı oranlarının belirlenmesi amacıyla nanoakışkanların viskozite ölçümleri sonucunda, nano parçacık katkılarının saf ticari bitkisel kesme sıvısının viskozitesini arttırdığı görülmüştür. En çok viskozite artışı MWCNT parçacık ilavesiyle gerçekleşirken, en az viskozite artışı nano MoS₂ parçacık ilavesi ile gerçekleşmiştir. Ayrıca, MWCNT parçacıkların çökelme eğilimleri nano grafen ve nano MoS₂ parçacıklara göre daha fazla olduğu da görülmüştür. Viskozite artışlarına rağmen nanoakışkanlar saf ticari bitkisel kesme sıvısına göre daha üstün performans göstermişlerdir.
- Her iki paslanmaz çelik malzemenin nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi ile frezelenmesinde, nano parçacıkların sağladığı yağlayıcılık ve yüksek ısıl iletkenlik sebebiyle serbest yüzey aşınmalarının azaldığı ve daha düzgün serbest yüzey

aşınmalarının oluştuğu görülmüştür. Ayrıca, kuru işlemede görülen kesici takım ucundan kopmaların oluşmadığı görülmüştür. Nanoakışkan MQL yöntemi, saf bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı MQL yöntemine göre avantaj sağlamıştır. Bunun sonucunda; en düşük serbest yüzey aşınma değerleri, nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanıldığında oluşmuştur ve nano parçacık katkı oranının artırılması serbest yüzey aşınma değerlerinin azalmasını sağlamaktadır. Fakat MWCNT parçacık katkı oranının artırılması kesme sıvısının viskozitesini fazla arttırmakta bu da MQL sisteminden elde edilen verimi azaltmaktadır. Bu nedenle %0,2 MWCNT katkılı nanoakışkan kullanılması durumunda serbest yüzey aşınma değerleri, %0,15 MWCNT katkılı durumdan bir miktar fazla olmaktadır. Nanoakışkanlar arasında en yüksek serbest yüzey aşınma değerleri ise ısı iletkenliği nano grafen ve MWCNT parçacıklara göre daha düşük olan nano MoS₂ katkılı kesme sıvılarının kullanıldığında durumda görülmüştür.

- MQL akış hızının artırılmasıyla ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışım arttığı için serbest yüzey aşınmalarında da azalmalar görülmüştür.
- Kaplamalı takımlarda TiN kaplamanın sahip olduğu yüksek sertlik ve aşınma direncinden dolayı kaplamsız takımlara göre daha az serbest yüzey aşınması oluştuğu görülmüştür.
- AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin daha sünek yapıya sahip olmasından dolayı AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğine göre frezeleme sonucunda takım ucunda daha fazla serbest yüzey aşınma değerleri oluşturmuştur.
- En yüksek serbest yüzey aşınma değerleri kuru işlemede gerçekleşmiştir. Yaklaşık 6 dakika frezeleme işleminden sonra kırılma olduğu görüldüğü için tüm serbest yüzey aşınma değerleri 6 dakika frezeleme sonucu oluşan aşınmalar esas alınarak karşılaştırma yapılmıştır. AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesiyle, kuru işlemeye göre serbest yüzey aşınma değerleri, WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla %11,61 ve %20,24, TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla %13,55 ve %24,11 azalma sağlanmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin frezelenmesinde ise bu oranların, WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla %6,15 ve %20,66, TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla %12,69 ve %29,57 olduğu belirlenmiştir.

- AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında nano grafen katkılı nanoakışkan kullanılarak frezelenmesi sonucu oluşan serbest yüzey aşınma değerleri, kuru işlemeye göre sırasıyla ortalama %41,58 ve %44,54 azalma göstermiştir. TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığı durumda, bu azalma oranları sırasıyla ortalama %44,14 ve %42,98 olarak belirlenmiştir. Aynı frezeleme koşullarında AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin işlenmesi sonucu gözlemlenen serbest yüzey aşınma değerleri ise WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %40,28 ve %42,16 ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %42,05 ve %46,76 oranlarında azalma göstermiştir.
- Ticari bitkisel kesme sıvısına MWCNT katılarak elde edilen nanoakışkanın AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin WC kesici takım ile 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesi sonucu gözlemlenen serbest yüzey aşınma değerleri kuru işlemeye göre sırasıyla ortalama %30,33 ve %31,54 azalma göstermiştir. Bu azalma, TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %33,54 ve %31,51 olarak belirlenmiştir. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesinde ise WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %22,10 ve %29,82 ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %26,39 ve %39,97 oranlarında azalma gözlemlenmiştir.
- Nano MoS₂ katkılı bitkisel kesme sıvısının AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesi sonucu oluşan serbest yüzey aşınma değerleri kuru işleme ile karşılaştırıldığında, WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %19,92 ve %29,44 ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %27,58 ve %30,68 oranlarında azalmıştır. Aynı frezeleme koşullarında AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin frezelenmesi sonucunda bu oranlar WC kesici takım için sırasıyla ortalama %15,14 ve %31,44 ve TiN kaplamalı WC kesici takım için sırasıyla ortalama %22,14 ve %35,02 olarak hesaplanmıştır.
- Her iki paslanmaz çelik malzemenin nanoakışkan kullanılan MQL yöntemi ile frezelenmesinde, yüzey pürüzlülüğü değerlerinin azaldığı görülmüştür. En düşük yüzey pürüzlülüğü değerleri nano grafen katkılı bitkisel kesme sıvısıyla elde edilmiştir. Nano parçacık katkı oranının artırılması yüzey pürüzlülüğü değerlerini azalmaktadır. Fakat

MWCNT katkı oranının %0,15'den %0,2'ye çıkarıldığı durumda; artan viskozite değeri ve gözlemlenen çökelme eğiliminden dolayı yüzey pürüzlülüğü değerlerinde bir miktar artış görülmüştür. Yine de %0,2 katkı oranında ölçülen pürüzlülük değeri, %0,1 katkı oranında ölçülen değerden yine de daha az olmaktadır.

- MQL akış hızının arttırılmasıyla ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımı arttığı için yüzey pürüzlülüğünde azalmalar görülmüş ve yüzey kalitesi artmıştır.
- Her iki paslanmaz çelik malzemenin de MQL yöntemi kullanılarak frezelenmesinde, TiN WC takım kullanılması, kaplamanın sahip olduğu yüksek sertlik ve aşınma direncinden dolayı kaplamasız takımlara göre yüzey pürüzlülüğü değerlerinde azalmalar sağlamaktadır.
- AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin sünek yapısından dolayı oluşan sıcaklıktan daha fazla etkilendiği bunun sonucunda da AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğine göre daha yüksek yüzey pürüzlülükleri oluşturduğu görülmüştür.
- AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin ticari bitkisel kesme sıvısı kullanılarak MQL yöntemi ile frezelenmesi sonucu oluşan yüzey pürüzlülük değerleri kuru işlemeye göre 20 ml/saat MQL akış hızında kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla %14,24 ve %8,85 ve 40 ml/saat MQL akış hızında kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla %19,41 ve %20,26 oranlarında azalma göstermiştir. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğinde ise, kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla %8,83 ve %8,05 ve kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla %22,48 ve %22,95 oranlarında azalma sağlanmıştır.
- Nano grafen katkılı kesme sıvısıyla AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaplamasız ve TiN kaplamalı takımlarla frezelenmesi sonucu, kuru işlemeye göre oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri 20 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %40,67 ve %40,46 ve 40 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %46,30 ve %46,43 oranlarında azalma göstermiştir. Aynı frezeleme koşullarında AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliği frezelediğinde ise bu oranlar, 20 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %40,29 ve %42,87 ve 40 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %49,45 ve %49,79 azalmıştır.
- Nanoakışkan olarak MWCNT katkısının kullanıldığı kesme sıvısıyla AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takım ile

frezelenmesinde gözlemlenen yüzey pürüzlülüğü değerlerinde kuru işlemeyle karşılaştırıldığında 20 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %37,61 ve %36,60 ve 40 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %42,70 ve %42,25 oranlarında azalma sağlanmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin aynı koşullarda frezelenmesinde ise, 20 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %35,53 ve %38,63 ve 40ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %42,08 ve %43,88 oranlarında azalma sağlanmıştır.

- AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin nano MoS₂ katkılı nanoakışkan kullanılarak frezelenmesinde kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımların kullanılmasıyla kuru işlemeyle kıyasla oluşan yüzey pürüzlülüğü değerleri 20 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %37,04 ve %31,59 ve 40 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %39,98 ve %38,22 oranlarında azalmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğinin kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımlarla frezelenmesinde 20 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %32,24 ve %36,63 ve 40 ml/saat MQL akış hızında sırasıyla ortalama %38,96 ve %39,99 oranlarında azalmıştır.

- Maksimum kesme sıcaklıkları kuru işlemede elde edilmiştir. MQL yönteminin kullanımı ile ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımı kesme sıcaklıklarının azalmasında neden olmuştur. Nano parçacıklarında etkisiyle nanoakışkan MQL kullanımıyla her kesme sıcaklıkları daha da düşük göstermiştir. En yüksek ısı iletkenliğe sahip nano grafen kullanılmasıyla her iki malzeme için en düşük kesme sıcaklıkları elde edilmiştir. Nano MoS₂ parçacıkları grafen ve MWCNT parçacıkları kadar ısı iletkenlikleri yüksek olmadığı için onlar kadar etkinlik gösterememiş fakat nano MoS₂ parçacıkların yağlayıcılık özelliklerinden dolayı saf bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı MQL yöntemine göre avantaj sağlamıştır. Nano parçacık katkı oranlarının artırılması sıcaklıkların düşmesini sağlamıştır. Fakat MWCNT katkı oranının %0,15'den %0,2'ye çıkartılması, artan viskozite değeri ve gözlemlenen çökme eğiliminden dolayı sıcaklık değerlerinde bir miktar artışa sebep olmuştur.

- MQL akış hızının arttırılmasıyla ortama gönderilen kesme sıvısı-basınçlı hava karışımını arttığı ve bu sayede fazla ısı transferi gerçekleştiği için kesme sıcaklıklarında azalmalar görülmüştür.

- Her iki paslanmaz çelik malzemenin de frezelenmesinde, kesme sıcaklıklarının TiN kaplamalı WC kesici takımların kullanıldığı durumda daha az olduğu görülmüştür.

- Martenzitik paslanmaz çelik malzemeye göre östenitik paslanmaz çelik malzemenin daha sünek yapıya sahip olması sebebiyle frezeleme esnasında daha yüksek kesme sıcaklıkları elde edilmiştir.
- Ticari bitkisel kesme sıvısının kullanıldığı MQL yöntemiyle AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesiyle oluşan kesme sıcaklıkları kuru işlemeye göre WC kesici takım kullanılmasıyla sırasıyla %9,04 ve %16,53, TiN kaplamalı WC kesici takım kullanılmasıyla sırasıyla %13,04 ve %19,33 oranlarında azalmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğinin 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesinde, WC kesici takım kullanımıyla birlikte sırasıyla %4,74 ve %10,60 ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanımıyla birlikte sırasıyla %4,43 ve %10,15 oranlarında kesme sıcaklıklarında azalmalar sağlanmıştır.
- Ticari bitkisel kesme sıvısına nano grafen katılarak elde edilen nanoakışkanın AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında WC kesici takım ile frezelenmesi sonucu oluşan kesme sıcaklıkları kuru işlemeye göre sırasıyla ortalama %24,61 ve %29,07 ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında ise sırasıyla ortalama %25,99 ve %29,58 oranlarında azalmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğinde ise 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında WC kesici takım kullanılması ile sırasıyla ortalama %18,69 ve %22,26, TiN kaplamalı WC kesici takım kullanılması ile sırasıyla ortalama %17,20 ve %22,02 oranlarında kesme sıcaklıklarında azalma görülmüştür.
- AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğinin nano MWCNT katkılı nanoakışkan kullanılarak 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesi sonucu oluşan kesme sıcaklıkları, kuru işlemeye göre WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %20,39 ve %25,72 ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %22,31 ve %27,01 oranlarında azalmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin aynı şartlarda frezelenmesinde ise bu oranların, WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %6,15 ve %20,66, TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %13,86 ve %18,48 olduğu belirlenmiştir.
- Nano MoS₂ katkılı bitkisel kesme sıvısıyla AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesi sonucu oluşan kesme sıcaklıkları kuru işleme ile karşılaştırıldığında, WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla

ortalama %16,77 ve %24,32 ve TiN kaplamalı WC kesici takım kullanıldığında sırasıyla ortalama %19,37 ve %25,26 oranlarında azalmıştır. AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin 20 ml/saat ve 40 ml/saat MQL akış hızlarında frezelenmesi sonucunda bu oranların WC kesici takım için sırasıyla ortalama %13,76 ve %17,44 ve TiN kaplamalı WC kesici takım için sırasıyla ortalama %12,38 ve %16,57 olduğu görülmüştür.

- Paslanmaz çelik malzemelerin frezelenmesinde oluşan çapaklar incelendiğinde, TiN kaplamalı WC kesici takım kullanılmasıyla daha az ve daha kısa çapakların oluştuğu görülmüştür. MQL yönteminin kullanılmasıyla çapak miktarlarında azalmaların görüldüğü, nano parçacıkların kullanıldığı MQL yönteminde saf ticari kesme sıvısına göre daha üstün yağlayıcılık ve ısı iletkenlik özelliklerinden dolayı daha küçük çapaklar oluşmasına sebep olduğu görülmüştür. MQL akış hızının arttırılması hem çapak miktarını hem de çapak boyutlarını önemli ölçüde azaltmıştır. En iyi etki gösteren kesme sıvısı ise nano grafen katkıli kesme sıvısı olmuştur.
- Nano parçacık katkı oranının arttırılması ortamdan daha fazla ısı uzaklaştırıp, yağlayıcılık etkisini daha da arttırdığı için daha az ve daha küçük boyutta çapak oluşumuna sebep olmaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] Çakır, M.C., (2006). Modern Talaşlı İmalatın Esasları, 1.Bölüm 2.Baskı, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [2] Selinder, T.I., Sjöstrand, M.E., Nordin, M., Larsson, M., Östlund, Å. ve Hongmark, S., (1998). "Performance of PVD TiN/TaN and TiN/NbN Supperlattice Coated Cemented Carbide Tools in Stainless Steel Machining", Surface and Coatings Technology, 105:51-55.
- [3] Nordin, M., Sundström, R., Selinder, T.I. ve Hogmark, S., (2000). "Wear and Failure Mechanisms of Multilayered PVD TiN/TaN Coated Tools When Milling Austenitic Stainless Steel", Surface and Coatings Technology, 133-134:240-246.
- [4] Liew, W.Y.H., Ngoi, B.K.A. ve Lu, Y.G., (2003). "Wear Characteristics of PCBN Tools in the Ultra-Precision Machining of Stainless Steel at Low Speeds", Wear, 254:265-277.
- [5] Endrino, J.L., Fox-Rabinovich, G.S. ve Gey, C., (2006). "Hard AlTiN, AlCrN PVD Coatings for Machining of Austenitic Stainless Steel", Surface and Coatings Technology, 200:6840-6845.
- [6] Kumar, A.S., Durai, A.R. ve Sornakumar, T., (2006). "The Effect of Tool Wear on Tool Life of Alumina-Based Ceramic Cutting Tools While Machining Hardened Martensitic Stainless Steel", Journal of Materials Processing Technology, 173:151-156.
- [7] Kumar, A.S., Durai, A.R. ve Sornakumar, T., (2006). "Wear Behaviour of Alumina Based Ceramic Cutting Tools on Machining Steels", Tribology International, 39:191-197.
- [8] Shao, H., Liu, L. ve Qu, H.L., (2007). "Machinability Study on 3%Co-12%Cr Stainless Steel in Milling", Wear, 263:736-744.
- [9] Liew, W.Y.H. ve Ding, X., (2008). "Wear Progression of Carbide Tool in Low-Speed End Milling of Stainless Steel", Wear, 265:155-166.
- [10] Liew, W.Y.H., (2010). "Low-Speed Milling of Stainless Steel with TiAlN Single-Layer and TiAlN/AlCrN Nano-Multilayer Coated Carbide Tools under Different Lubrication Conditions", Wear, 269:617-631.

- [11] Nalbant, M. ve Yıldız, Y., (2011). "Effect of Cryogenic Cooling in Milling Process of AISI 304 Stainless Steel", Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 21:72-79.
- [12] Biermann, D., Steiner, M. ve Krebs, E., (2013). "Investigation of Different Hard Coatings for Micromilling of Austenitic Stainless Steel", Procedia CIRP, 7:246-251.
- [13] Selvaraj, D.P., Chandramohan, P. ve Mohanraj, M., (2014). "Optimization of Surface Roughness, Cutting Force and Tool Wear of Nitrogen Alloyed Duplex Stainless Steel in a Dry Turning Process Using Taguchi Method", Measurement, 49:205-215.
- [14] Routio, M. ve Säynätjoki, M., (1995). "Tool Wear and Failure in the Drilling of Stainless Steel", Journal of Materials Processing Technology, 52:35-43.
- [15] Belluco, W. ve Chiffre, L.D., (2002). "Surface Integrity and Part Accuracy in Reaming and Tapping Stainless Steel with New Vegetable Based Cutting Oils", Tribology International, 35:865-870.
- [16] Belluco, W. ve Chiffre, L.D., (2004). "Performance Evaluation of Vegetable-Based Oils in Drilling Austenitic Stainless Steel", Journal of Materials Processing Technology, 148:171-176.
- [17] Xavior, M.A. ve Adithan, M., (2009). "Determining the Influence of Cutting Fluids on Tool Wear and Surface Roughness during Turning of AISI 304 Austenitic Stainless Steel", Journal of Materials Processing Technology, 209:900-909.
- [18] Cetin, M.H., Ozcelik, B., Kuram, E. ve Demirbas, E., (2011). "Evaluation of Vegetable Based Cutting Fluids with Extreme Pressure and Cutting Parameters in Turning of AISI 304L by Taguchi Method", Journal of Cleaner Production, 19:2049-2056.
- [19] Braga, D.U., Diniz, A.E., Miranda, G.W.A. ve Coppini, N.L., (2002). "Using a Minimum Quantity of Lubricant (MQL) and a Diamond Coated Tool in the Drilling of Aluminum-Silicon Alloys", Journal of Materials Processing Technology, 122:127-138.
- [20] Rahman, M., Kumar, A.S. ve Salam, M.U., (2002). "Experimental Evaluation on the Effect of Minimal Quantities of Lubricant in Milling", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 42:539-547.
- [21] Kishawy, H.A., Dumitrescu, M., Ng, E.G. ve Elbestawi, M.A., (2005). "Effect of Coolant Strategy on Tool Performance, Chip Morphology and Surface Quality During High-Speed Machining of A356 Aluminum Alloy", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 45:219-227.
- [22] Khan, M.M.A. ve Dhar, N.R., (2006). "Performance Evaluation of Minimum Quantity Lubrication by Vegetable Oil in Terms of Cutting Force, Cutting Zone Temperature, Tool Wear, Job Dimension and Surface Finish in Turning AISI-1060 Steel", Journal of Zhejiang University Science A, 7:1790-1799.

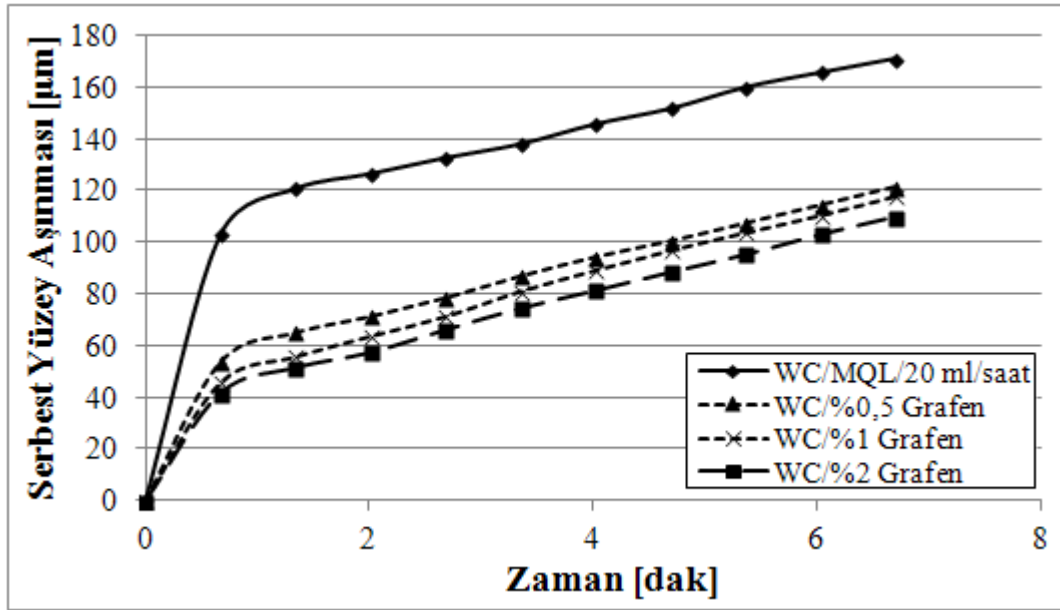
- [23] Itoigawa, F., Childs, T.H.C., Nakamura, T. ve Belluco, W., (2006). "Effects and Mechanisms in Minimal Quantity Lubrication Machining of an Aluminum Alloy", *Wear*, 260:339-344.
- [24] Heinemann, R., Hinduja, S., Barrow, G. ve Petuelli, G., (2006). "Effect of MQL on the Tool Life of Small Twist Drills in Deep-Hole Drilling", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 46:1-6.
- [25] Dhar, N.R., Kamruzzaman, M. ve Ahmed, M., (2006). "Effect of Minimum Quantity Lubrication (MQL) on Tool Wear and Surface Roughness in Turning AISI-4340 Steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 172:299-304.
- [26] Dhar, N.R., Islam, M.W., Islam, S. ve Mithu, M.A.H., (2006). "The Influence of Minimum Quantity of Lubrication (MQL) on Cutting Temperature, Chip and Dimensional Accuracy in Turning AISI-1040 Steel", *Journal of Materials Processing Technology*, 171:93-99.
- [27] Dhar, N.R., Ahmed, M.T. ve Islam, S., (2007). "An Experimental Investigation on Effect of Minimum Quantity Lubrication in Machining AISI 1040 Steel", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47:748-753.
- [28] Liao, Y.S., Lin, H.M. ve Chen, Y.C., (2007). "Feasibility Study of the Minimum Quantity Lubrication in High-Speed End Milling of NAK80 Hardened Steel by Coated Carbide Tool", *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 47:1667-1676.
- [29] Chiffre, L.D., Tosello, G., Piska, M. ve Müller, P., (2009). "Investigation on Capability of the Reaming Process Using Minimal Quantity Lubrication", *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 2:47-54.
- [30] Hosokawa, A., Ueda, T., Onishi, R., Tanaka, R. ve Furumoto, T., (2010). "Turning of Difficult-to-Machine Materials with Actively Driven Rotary Tool", *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 59:89-92.
- [31] Li, K-M. ve Chou, S-Y., (2010). "Experimental Evaluation of Minimum Quantity Lubrication in Near Micro-Milling", *Journal of Materials Processing Technology*, 210:2163-2170.
- [32] Hwang, Y., Park, H.S., Lee, J.K. ve Jung, W.H., (2006). "Thermal Conductivity and Lubrication Characteristics of Nanofluids", *Current Applied Physics*, 6S1:e67-e71.
- [33] Shen, B., Shih, A.J. ve Tung, S.C., (2008). "Application of Nanofluids in Minimum Quantity Lubrication Grinding", *Tribology Transactions*, 51:730-737.
- [34] Shen, B., Malshe, A.P., Kalita, P. ve Shih, A.J., (2008). "Performance of Novel MoS₂ Nanoparticles Based Grinding Fluids in Minimum Quantity Lubrication Grinding", *Transactions of NAMRI/SME*, 36:357-364.
- [35] Kwon, P. ve Drzal, L.T., (2010). "Nanoparticle Graphite-Based Minimum Quantity Lubrication Method and Composition", Patent Numarası: US 2010/0204072 A1.

- [36] Park, K.H., Ewald, B. ve Kwon, P.Y., (2011). "Effect of Nano-Enhanced Lubricant in Minimum Quantity Lubrication Balling Milling", *Journal of Tribology*, 133:031803-1-8.
- [37] Mao, C., Zhang, J., Huang, Y., Zou, H., Huang, X. ve Zhou, Z., (2013). "Investigation on the Effect of Nanofluid Parameters on MQL Grinding", *Materials and Manufacturing Processes*, 28:436-442.
- [38] Akkurt, M., (2010). *Talaş Kaldırma Bilimi ve Teknolojisi Cnc Takım Tezgâhları ve Üretim Otomasyonu*, 1. Baskı, Birsen Yayınevi, İstanbul.
- [39] Taylan, F., (2009). *Sert Malzemelerin Frezelenmesinde Takım Aşınma Davranışlarının Belirlenmesi*, Doktora Tezi, Süleyman Demirel Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Isparta.
- [40] Ateş, S., (2006). *Sertleştirilmiş P20 Çeliğinin Kübik Bor Nitrür (CBN) Kesici Takımlarla Yüksek Hızlarda Frezelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Kırıkkale Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Kırıkkale.
- [41] Gezgin, A., (2007). *Prizmatik Parçaların Frezelenmesi Esnasında, Kesici Uç Sayısının Takım Ömrü ve Yüzey Pürüzlülüğü Açısından Değerlendirilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [42] Şeker, H., (2010). *Takım Aşınması ve Yüzey Pürüzlülüğünün Yapay Sinir Ağları ve Bulanık Mantık Yöntemi İle Tahmin Edilmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [43] Şahin, Y., (2001). *Talaş Kaldırma Prensipleri 2*, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [44] Çalışkan, O., (2014). *Tornalamada Talaş Kaldırma Parametrelerinin Takım Ömrüne Etkilerinin Taguchi Yaklaşımıyla İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [45] Sert, A., (2008). *Farklı Takım Tutuculara Bağlanan Parmak Frezenin Düzlem Yüzey Frezelemedeki Performansının Araştırılması*, Yüksek Lisans Tezi, Gebze Yüksek Teknoloji Enstitüsü Mühendislik ve Fen Bilimleri Enstitüsü, Gebze.
- [46] Sarı, H., (2008). *Frezelemede Takım Geometrisi ve Tırlama Titreşimlerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkileri*, Yüksek Lisans Tezi, Selçuk Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Konya.
- [47] Arıtaşı, A., (2008). *Dönen Takma Uçlu Kesici Takımlarla Talaşlı Şekillendirmede İşlem Parametrelerinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi*, Yüksek Lisans Tezi, Yıldız Teknik Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [48] Bakır, B., (2012). *Frezelemede Talaş Oluşumunun ve Geometrisinin Yüzey Pürüzlülüğüne Etkilerinin İncelenmesi*, Doktora Tezi, Marmara Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, İstanbul.
- [49] Gökkaya, H., (2004). *Takım-Talaş Ara Yüzey Sıcaklığının Isıl Çift Yöntemiyle Ölçülmesi ve Kesici Takım ile Takım Tutucu Üzerindeki Etkilerinin Sonlu Elemanlarla İncelenmesi*, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.

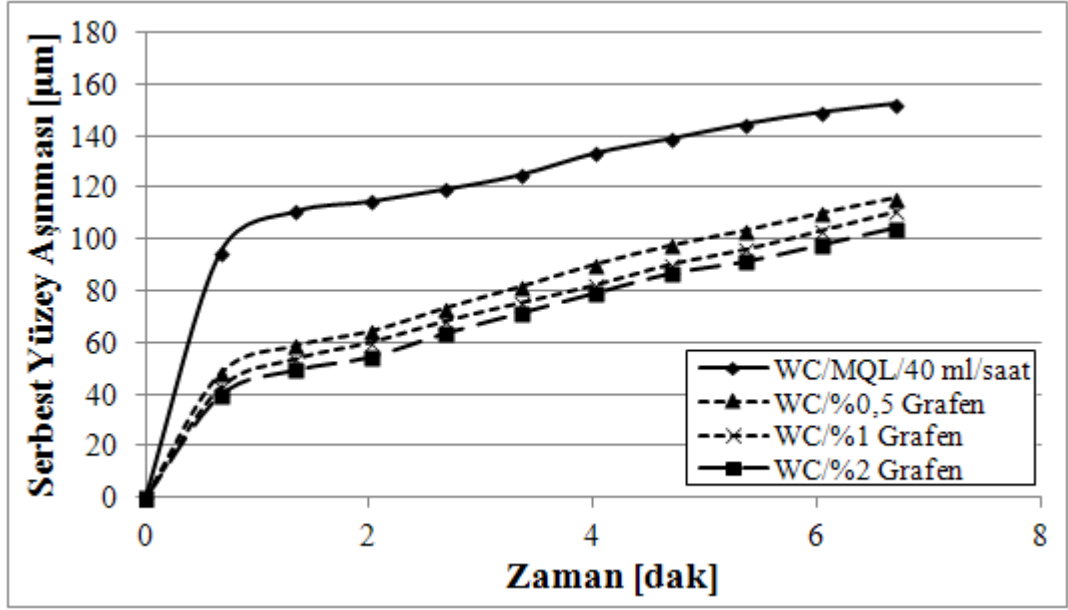
- [50] Boy, M., (2004). Kesme Parametrelerine Bağlı Olarak Talaş Arkayüzey Sıcaklığının Deneysel Olarak İncelenmesi, Yüksek Lisans Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [51] Şahin, Y., (2000). Talaş Kaldırma Prensipleri 1, Nobel Yayın Dağıtım, Ankara.
- [52] Yalçın, Ü., (2008). Talaş Kaldırma Sırasında Oluşan Sıcaklık ve Termal Yorulma Faktörlerinin Takım Aşınma Davranışlarına Etkisi, Doktora Tezi, Gazi Üniversitesi Fen Bilimleri Enstitüsü, Ankara.
- [53] Abukhshim, N.A., Mativenga, P.T. ve Sheikh, M.A., (2006). "Heat Generation and Temperature Prediction in Metal Cutting: A Review and Implications for High Speed Machining", International Journal of Machine Tools & Manufacture, 46:782-800.
- [54] Davoodi, B. ve Hosseinzadeh, H., (2012). "A New Method for Heat Measurement During High Speed Machining", Measurement, 45:2135-2140.

TAKIM AŞINMASI GRAFİKLERİ

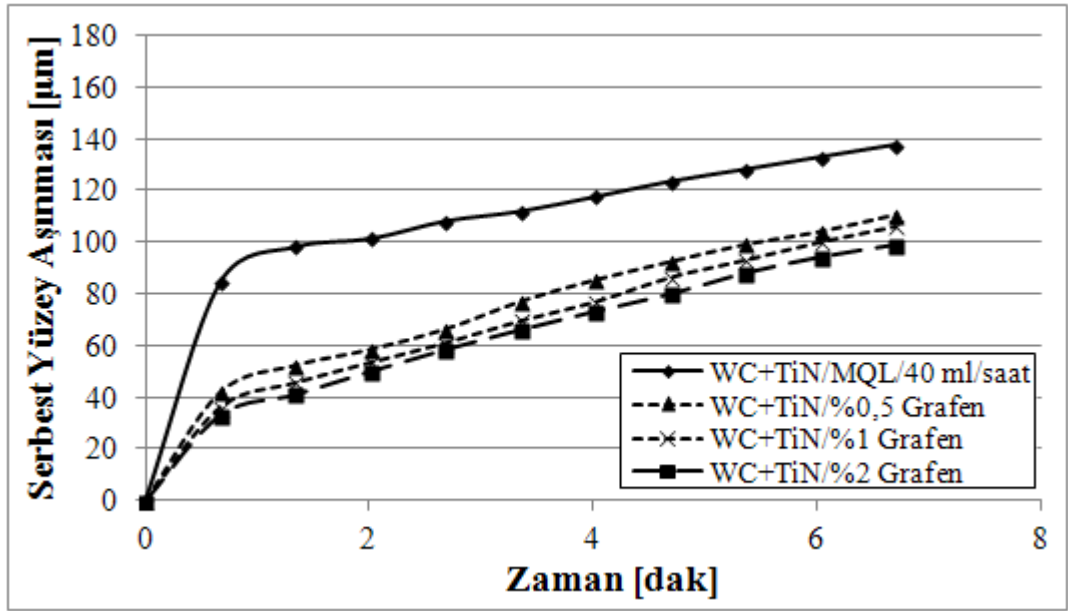
Bu bölümde nanoakışkan MQL yönteminde kullanılan nano parçacıkların katkı oranları ile MQL akış hızlarının, AISI 304 östenitik ve AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliklerin frezelenmesinde kaplamasız ve TiN kaplamalı WC kesici takımlarda oluşan serbest yüzey aşınmalarına ait grafikler verilmektedir.



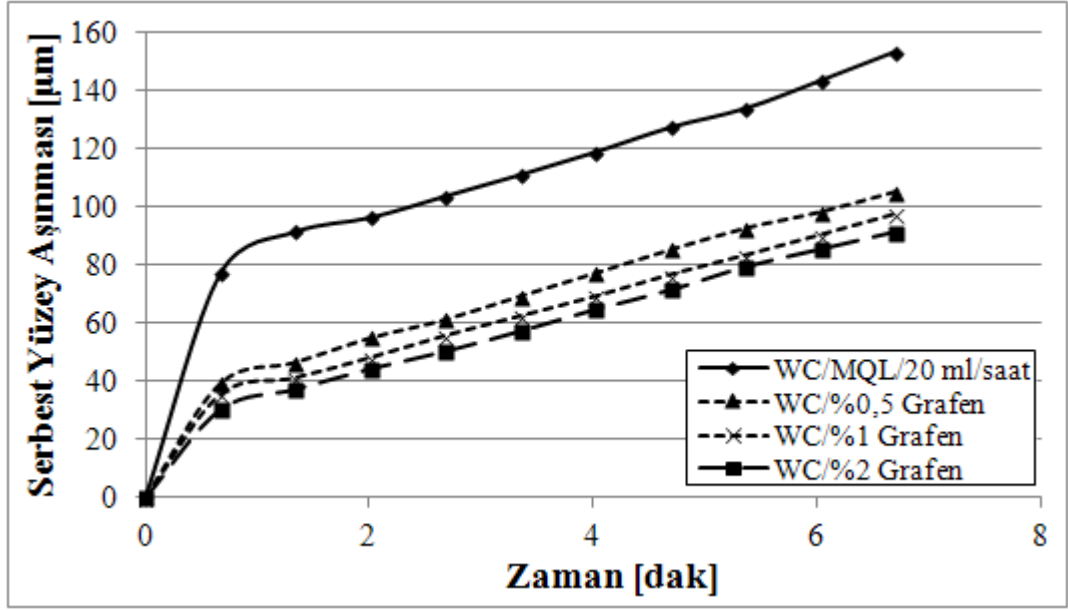
Şekil A.1 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



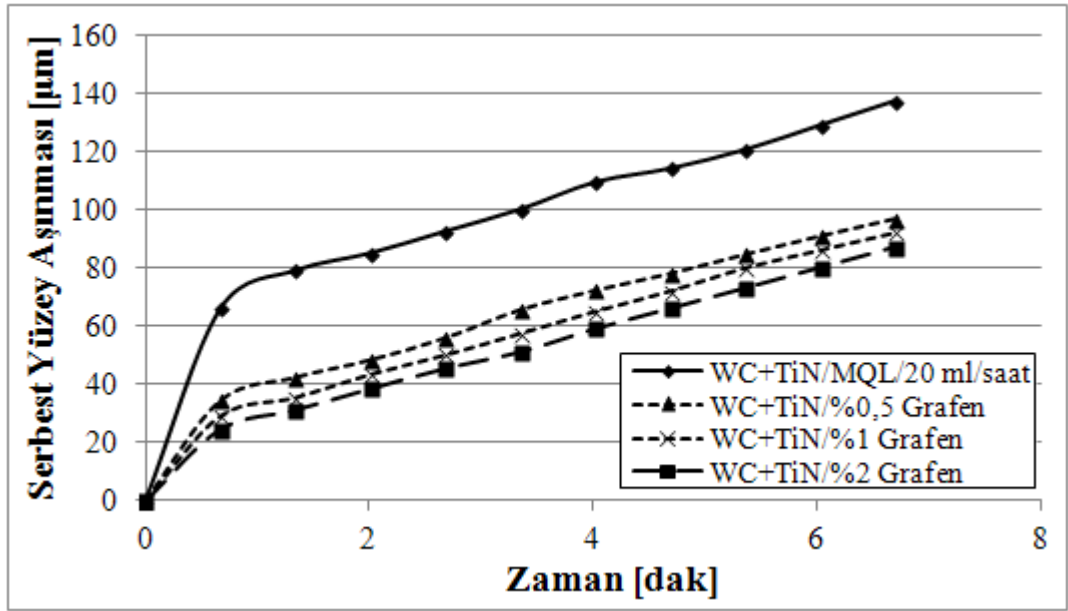
Şekil A.2 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



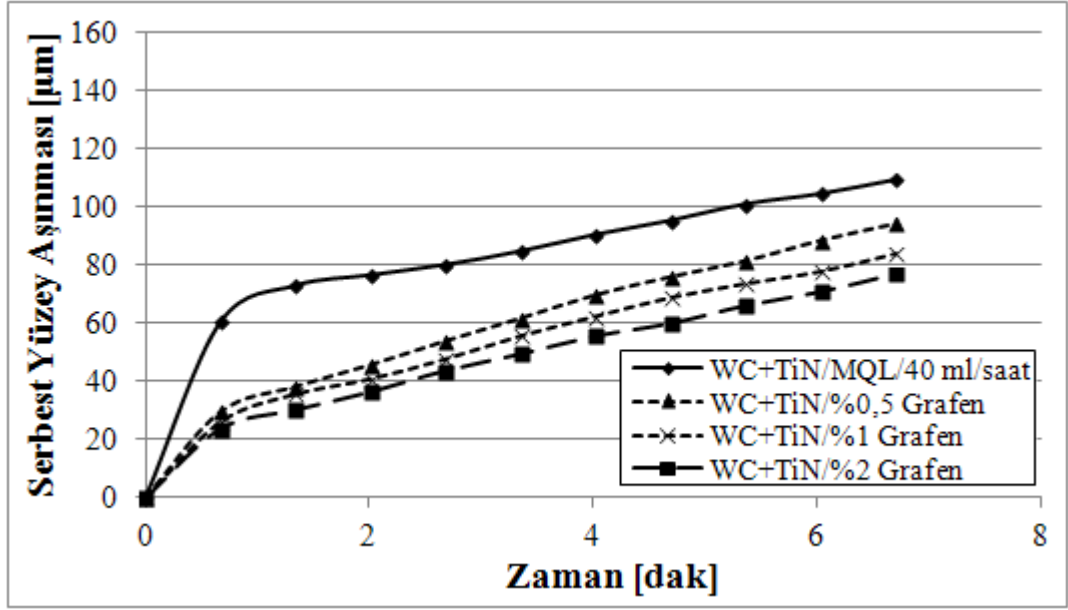
Şekil A.3 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



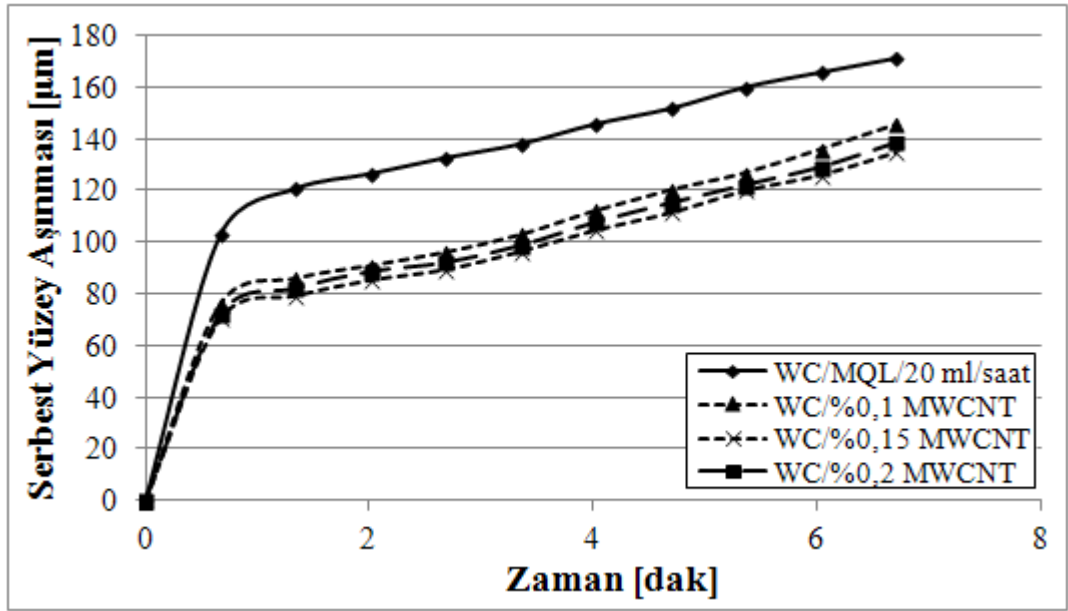
Şekil A.4 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



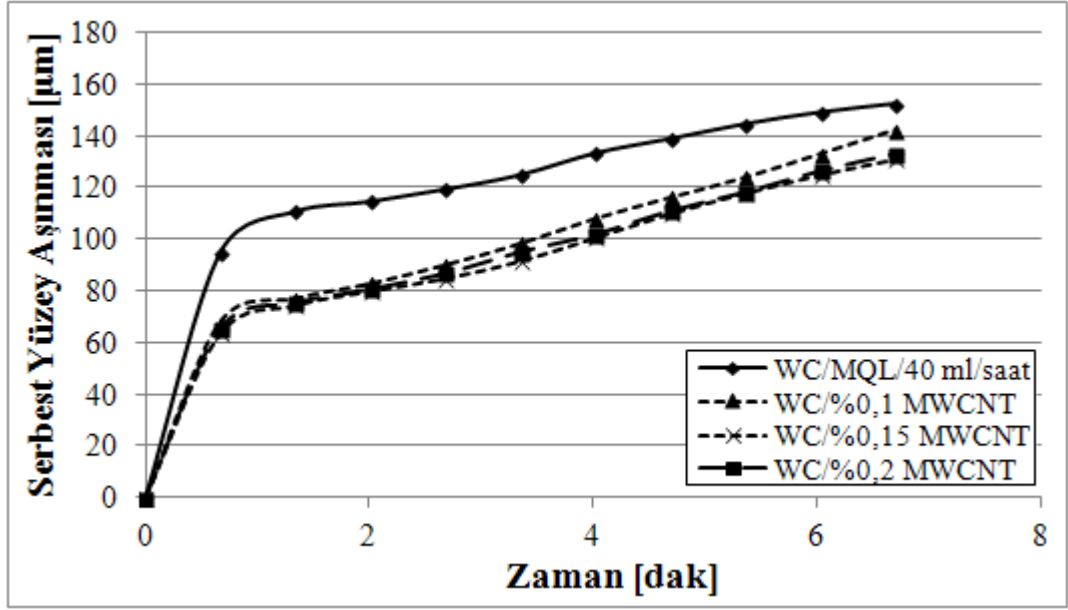
Şekil A.5 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



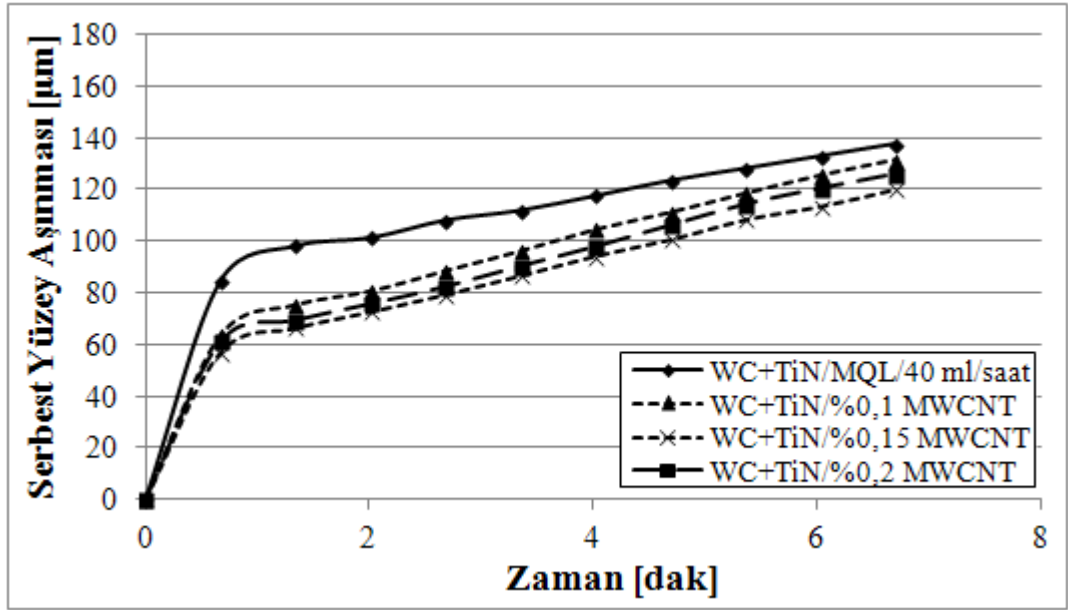
Şekil A.6 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında nano grafen katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



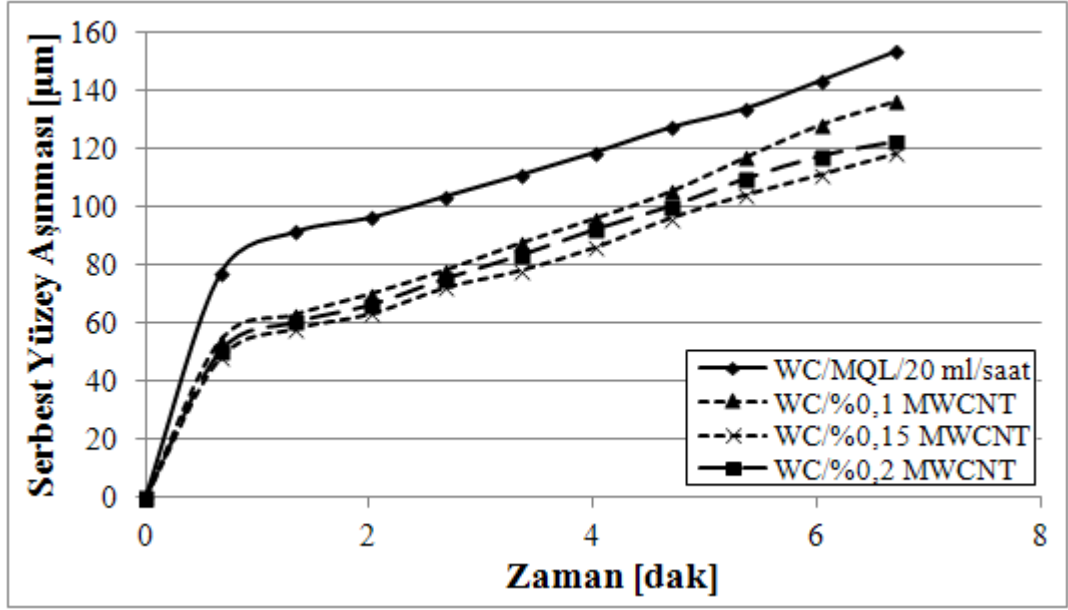
Şekil A.7 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



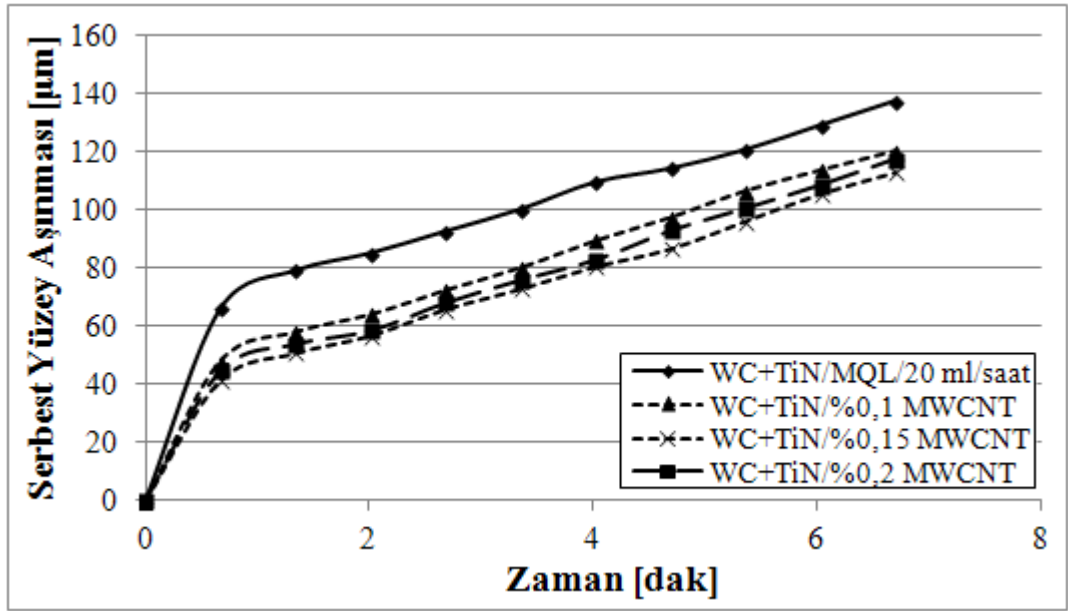
Şekil A.8 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



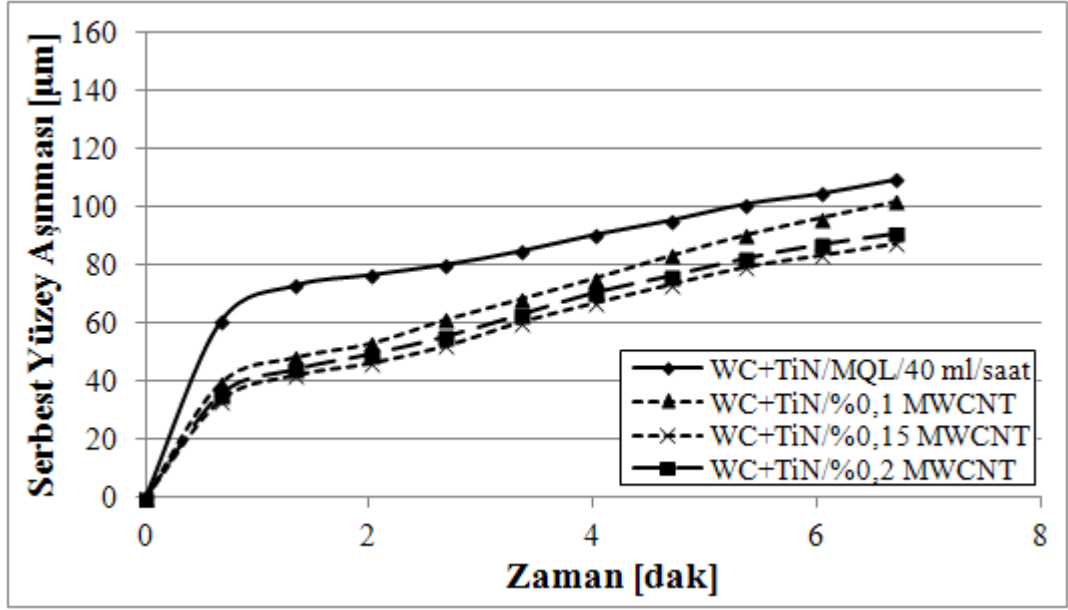
Şekil A.9 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



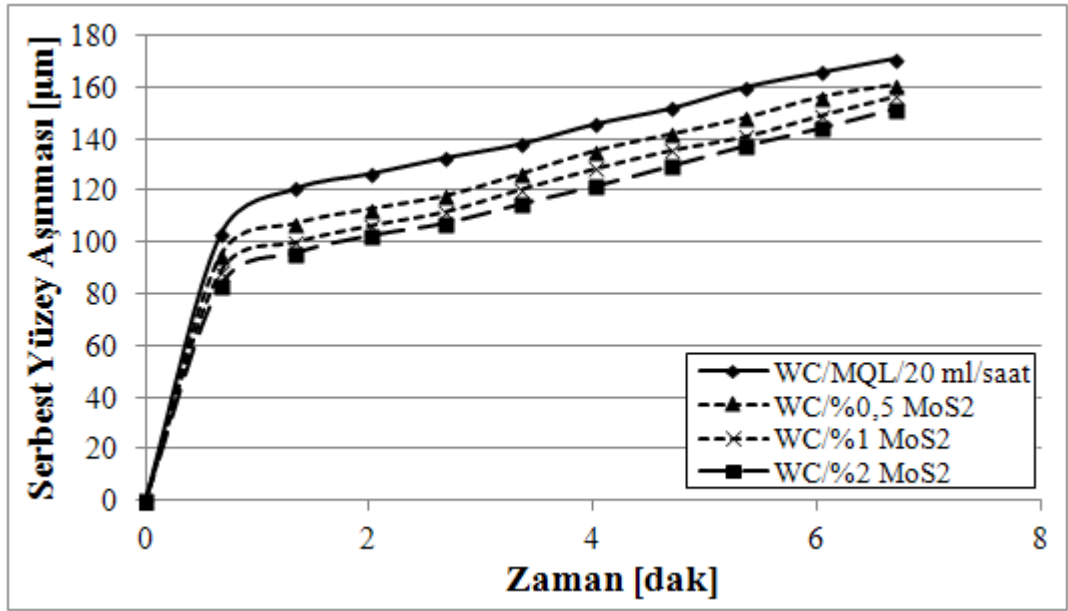
Şekil A.10 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



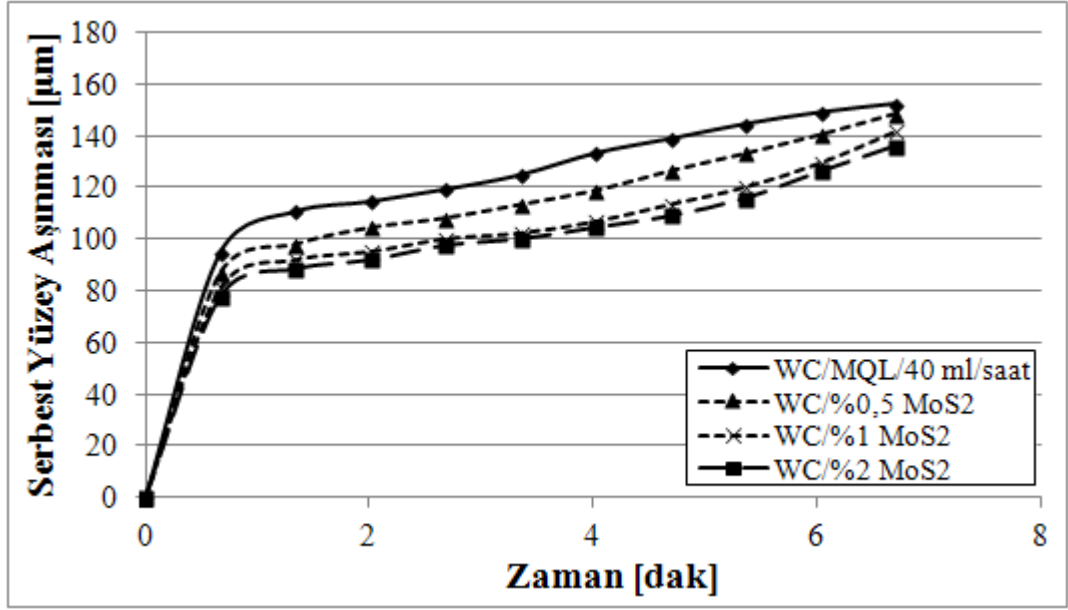
Şekil A.11 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



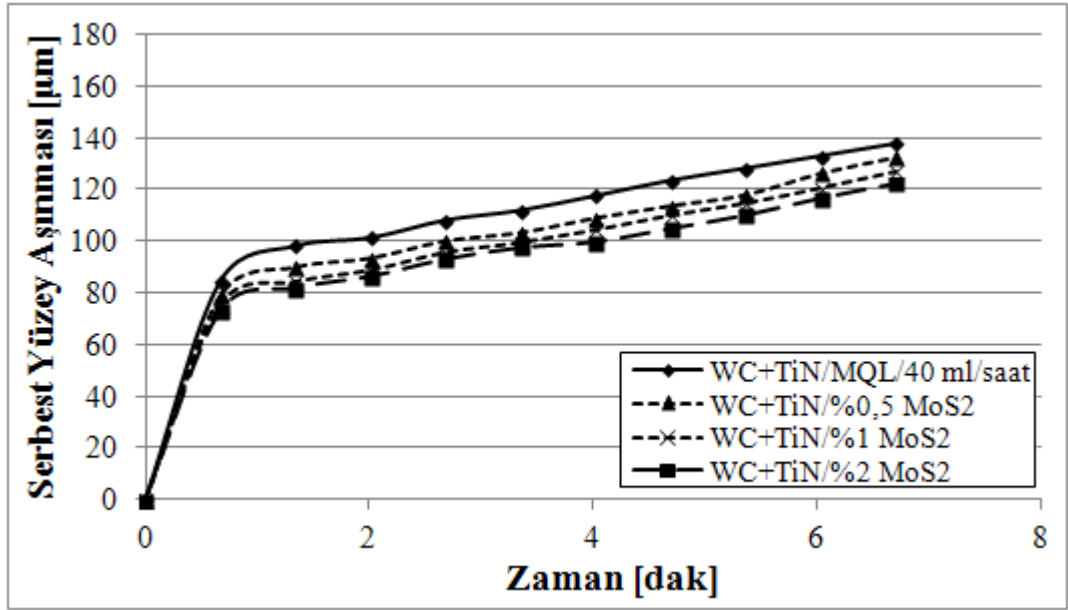
Şekil A.12 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MWCNT katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



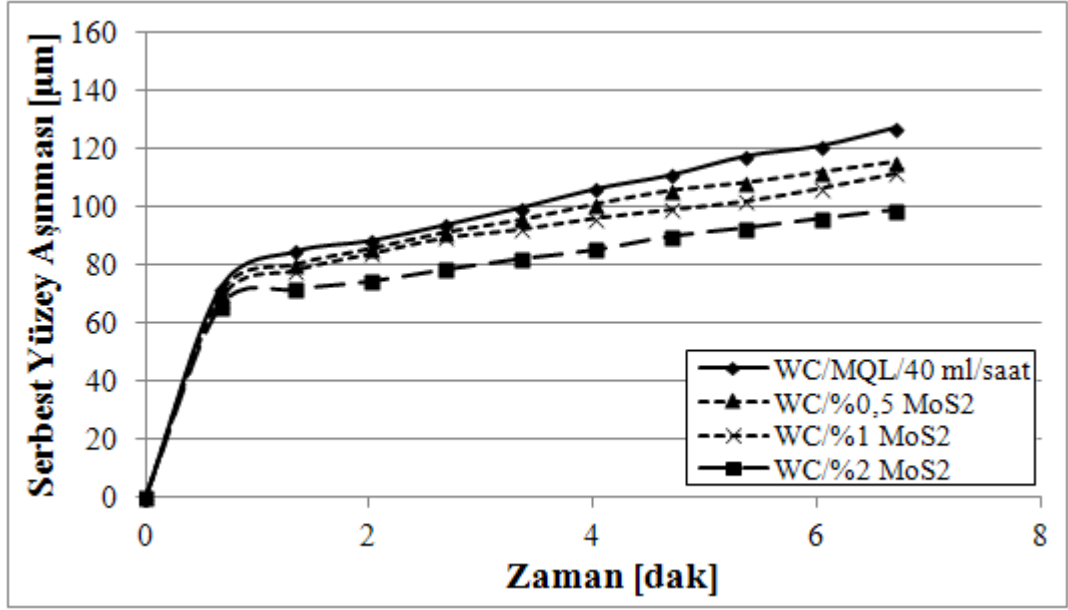
Şekil A.13 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MoS₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



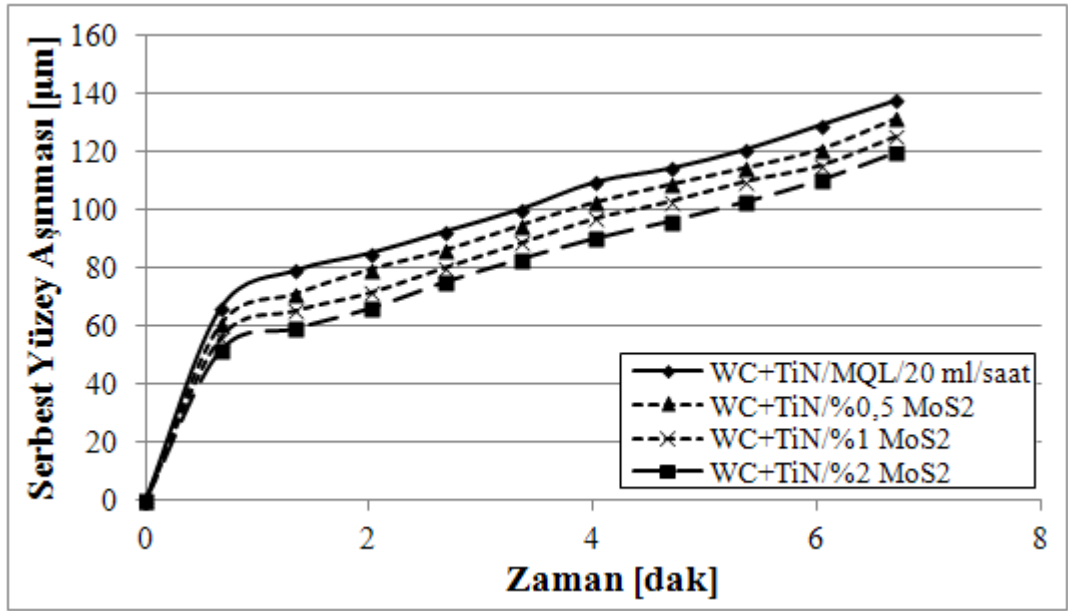
Şekil A.14 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MoS₂ katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzeý aşınması



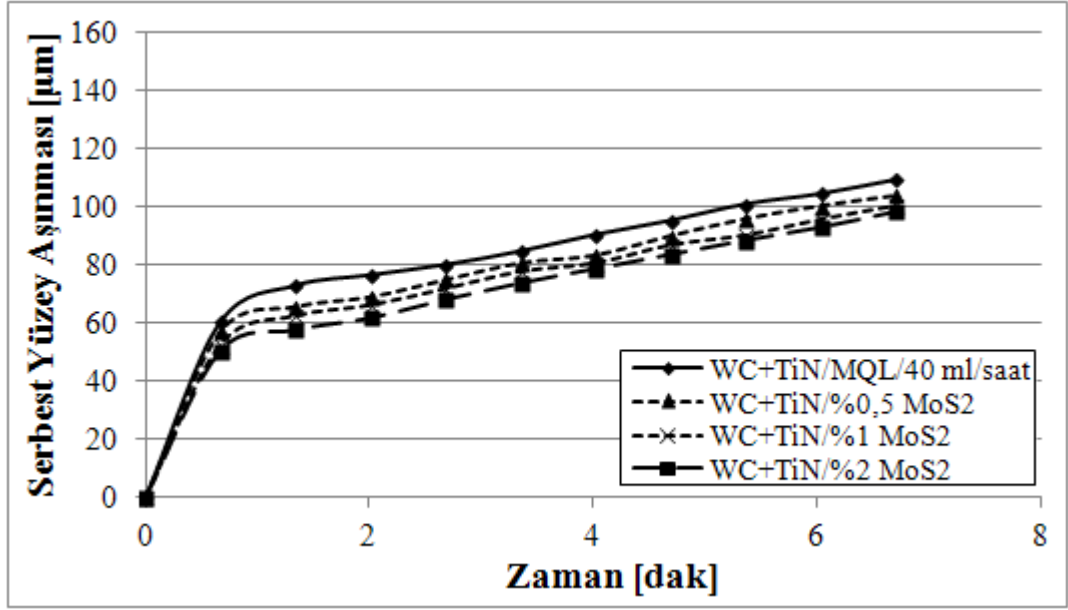
Şekil A.15 AISI 304 östenitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MoS₂ katkıli kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzeý aşınması



Şekil A.16 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MoS₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



Şekil A.17 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 20 ml/saat MQL akış hızında MoS₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması



Şekil A.18 AISI 420 martenzitik paslanmaz çeliğin TiN kaplamalı WC kesici takım ile 40 ml/saat MQL akış hızında MoS₂ katkılı kesme sıvısı kullanılarak frezelenmesinde serbest yüzey aşınması

ÖZGEÇMİŞ

KİŞİSEL BİLGİLER

Adı Soyadı : Furkan DEMİREN
Doğum Tarihi ve Yeri : 08.01.1989 Muratlı/TEKİRDAĞ
Yabancı Dili : İngilizce
E-posta : f.demiren@hotmail.com

ÖĞRENİM DURUMU

Derece	Alan	Okul/Üniversite	Mezuniyet Yılı
Lisans	Makine Mühendisliği	Yıldız Teknik Üniversitesi	2009-2013
	Makine Mühendisliği	Uludağ Üniversitesi	2007-2009
Lise	Fen Bilimleri	Edremit Anadolu Lisesi	2007

YAYINLARI

Bildiri

1. Uysal, A., Demiren, F. ve Altan, E., (2015). "Investigation of Surface Roughness and Chip Forms in Milling of Stainless Steel by MQL Method", 5th International Advances in Applied Physics and Materials Science Congress, 16-19 Nisan 2015, Muğla, Türkiye.
2. Uysal, A., Demiren, F. ve Altan, E., (2015). "Applying Minimum Quantity Lubrication (MQL) Method on Milling of Martensitic Stainless Steel by using Nano MoS₂ Reinforced Vegetable Cutting Fluid", World Conference on Technology, Innovation and Entrepreneurship, 28-30 Mayıs 2015, İstanbul, Türkiye.

Proje

1. Östenitik ve Martenzitik Paslanmaz Çeliklerin Nanoakışkan Kullanılarak MQL (Minimum Miktarda Yağlama) Yöntemi ile Sürdürülebilir Frezelenmesi, TÜBİTAK Projesi, Proje No: 114M098, Bursiyer.